

上海市环境科学学会

关于《固定污染源废气 湿度的测定 阻容法（征求意见稿）》团体标准公开征求意见的函

各相关单位：

由上海市环境科学学会组织编制的团体标准《固定污染源废气湿度的测定 阻容法》已形成征求意见稿。按照《上海市环境科学学会团体标准管理办法》的有关要求，现公开征求意见。请于2020年8月14日前将《征求意见回复表》反馈至上海市环境科学学会。

联系人：戚芳方

电 话：15121033961

邮 箱：shsseshjjc@126.com

附件：1.征求意见稿文本

2.编制说明

3.征求意见回复表



T/SSESB□□□—2020

ICS 13.040

CCS Z10/39

上海市环境科学学会团体标准

T/SSESB□□-2020

固定污染源废气 湿度的测定 阻容法

Stationary source emission—Determination of humidity
—Resistance and Capacitance Method

(征求意见稿)

2020-□□-□□发布

2020-□□-□□实施

发布

上海市环境科学学会

目 次

前 言.....	III
1 适用范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语及定义.....	1
4 方法原理.....	2
5 干扰及消除.....	2
6 试剂和材料.....	2
7 仪器和设备.....	2
8 采样位置和采样点.....	3
9 分析步骤.....	3
10 结果计算与表示.....	3
11 精密度和准确度.....	3
12 质量保证和质量控制.....	4
13 注意事项.....	4
附录 A（资料性附录）.....	5

前 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国大气污染防治法》，保护环境，保障人体健康，规范固定污染源废气中湿度的测定方法，制定本标准。

本标准规定了测定固定污染源废气中湿度的阻容法。

本标准为首次发布。

本标准的附录 A 为资料性附录。

本标准由上海市环境科学学会组织制订。

本标准主要起草单位：上海市环境监测中心、南京埃森环境技术股份有限公司、青岛崂应环境科技有限公司、宝武装备智能科技有限公司、中检集团理化检测有限公司和华东理工大学。

本标准验证单位：上海市嘉定区环境监测站、上海市金山区环境监测站、上海市闵行区环境监测站、上海市宝山区环境监测站、上海纺织节能环保中心和上海市化工环境保护监测站。

本标准首期承诺执行单位：

本标准由上海市环境科学学会 2020 年□□月□□日批准。

本标准自 2020 年□□月□□日起实施。

本标准由上海市环境科学学会解释。

固定污染源废气 湿度的测定 阻容法

1 适用范围

本标准规定了测定固定污染源废气中湿度的阻容法。

本标准适用于固定污染源废气中湿度的测定。

本方法检出限为 0.20% Vol，测定下限为 0.80% Vol，测定范围为 0~40% Vol。

2 规范性引用文件

本标准内容引用了下列文件或其中的条款。凡是不注明日期的引用文件，其有效版本适用于本标准。

GB/T 16157	固定污染源排气中颗粒物测定和气态污染物采样方法
HJ 75	固定污染源废气（SO ₂ 、NO _x 、颗粒物）连续排放监测技术规范
HJ 836	固定污染源废气 低浓度颗粒物的测定 重量法
HJ/T 373	固定污染源监测质量保证与质量控制技术规范（试行）
HJ/T 397	固定源废气监测技术规范

3 术语及定义

3.1

湿度 **humidity**

废气中水蒸气含量的体积百分数（X_{sw}），单位为% Vol。

3.2

标准湿气 **standard moisture**

以清洁空气或纯氮气为载气，通过发生装置产生的具有一定浓度，均匀分布水蒸气的气体。

3.3

校准量程 **calibration span**

仪器的校准上限，为校准所用标准湿气的湿度（进行多点校准时，为校准所用标准湿气的最高湿度），校准量程（以下用C.S.表示）应小于或等于仪器的满量程。

3.4

示值误差 **calibration error**

标准湿气直接通入仪器的测定结果与标准湿气湿度之间的误差。

3.5

响应时间 **response time**

仪器零点读数稳定后，通入校准量程湿度的标准湿气时刻起，到其读数达到其标称值90% (t_{90}) 的时刻止，中间的时间间隔。

4 方法原理

废气中的水分子渗透扩散至湿敏元件引起阻抗变化，根据湿度和阻容值的函数关系，并进行压力和温度补偿计算，得出废气湿度。

5 干扰及消除

废气中的颗粒物容易污染湿度传感器，应采用过滤器除尘等方法消除或减少废气中颗粒物对仪器的污染。

6 试剂和材料

6.1 标准湿气发生装置：市售标准湿气发生装置，发生湿度范围 0~40% Vol，精度不超过 $\pm 0.5\%$ Vol。

6.2 零气：纯度 $\geq 99.999\%$ 的氮气或除水后环境空气，湿度 $\leq 0.20\%$ Vol。

7 仪器和设备

7.1 阻容法湿度测定仪组成

阻容法湿度测定仪（以下简称“仪器”）组成：样品采集传输单元、预处理单元、分析单元和数据采集处理单元。

(1) 样品采集传输单元

包括采样探头、传输管线和加热装置等。

(2) 预处理单元

包括过滤装置，具备防水、防尘功能。预处理的材料和安装应不影响测定结果。

(3) 分析单元

用于湿度测定分析的阻容式传感器，具备温度、压力补偿功能和校准功能。

(4) 数据采集处理单元

用于采集处理数据，具备记录存储和打印功能。

7.2 性能要求

(1) 示值误差：校准量程 $\leq 5.00\% \text{Vol}$ 时，绝对误差不超过 $\pm 0.75\% \text{Vol}$ ；校准量程 $> 5.00\% \text{Vol}$ 时，相对误差不超过 $\pm 15\%$ 。

(2) 响应时间： ≤ 60 秒。

8 采样位置和采样点

按照GB/T 16157、HJ/T 397、HJ/T 373、HJ 75和HJ 836 等标准规定，确定采样位置和采样点。

9 分析步骤

9.1 样品测定

按仪器使用说明书，将探头放置在烟道规定位置，堵严采样孔，使之不漏气。待仪器读数稳定后即可记录读数，每分钟保存一个均值，连续取样5分钟~15分钟测定数据的平均值，作为一次测定值。

9.2 仪器关机

测定完成后，将仪器探头取出，置于环境空气中，清洗仪器，当仪器读数恢复至环境湿度并且稳定后，确认清洗完成。关闭电源，断开仪器各部分连接，结束测定。

10 结果计算与表示

湿度测定结果保留两位小数。

11 精密度和准确度

11.1 精密度

6家验证实验室对湿度为 $4.00\% \text{Vol}$ 、 $18.00\% \text{Vol}$ 和 $28.00\% \text{Vol}$ 的标准湿气进行测定：

实验室内相对标准偏差分别为： $0.13\% \sim 0.61\%$ 、 $0.06\% \sim 0.67\%$ 和 $0.04\% \sim 0.50\%$ ；

实验室间相对标准偏差分别为： 4.08% 、 2.34% 和 2.08% ；

重复性限分别为： $0.04\% \text{Vol}$ 、 $0.17\% \text{Vol}$ 和 $0.18\% \text{Vol}$ ；

T/SSESB□□□—2020

再现性限分别为：0.47% Vol、1.18% Vol 和 1.61% Vol。

6 家验证实验室对工艺废气、电厂废气、生活垃圾焚烧厂废气湿度进行测定。工艺废气湿度为 2.82% Vol~3.04% Vol, 平均值为 2.92% Vol; 电厂废气湿度为 13.29% Vol~14.52% Vol, 平均值为 13.85% Vol; 垃圾焚烧厂废气湿度为 19.66% Vol~21.90% Vol, 平均值为 20.85% Vol。

实验室内相对标准偏差分别为：0.63%~1.27%、1.01%~2.41% 和 2.04%~2.87%;

实验室间相对标准偏差分别为：2.09%、1.45% 和 1.60%;

重复性限分别为：0.08% Vol、0.69% Vol 和 1.48% Vol;

再现性限分别为：0.19% Vol、0.84% Vol 和 1.64% Vol。

11.2 准确度

6 家验证实验室对湿度为 4.00% Vol、18.00% Vol 和 28.00% Vol 的标准湿气进行测定。

相对误差分别为：-4.95%~5.02%、-0.39%~2.91% 和 -1.47%~3.23%;

相对误差最终值为：0.34% ± 8.52%、0.86% ± 2.72% 和 0.66% ± 3.50%。

12 质量保证和质量控制

12.1 每个月至少进行一次零点核查，仪器读数应不大于 0.20% Vol。

12.2 每年至少开展一次仪器使用期间的核查工作，核查内容至少包括多点示值误差(<20% C.S.、40%~60% C.S.、80%~100% C.S.) 和响应时间，核查频次依据仪器使用环境和频率、历次检定或校准结果等情况确定。核查结果应符合 7.2 的要求。

12.3 如零点核查或期间核查结果不符合要求，应及时维护或维修仪器。在维修或更换重要零部件后，应使用标准湿气对仪器进行性能指标检查，并满足 7.2 的要求。

13 注意事项

13.1 进入仪器的废气温度应不高于 180℃。

13.2 测定前应清洁探头过滤装置，确保采样管路畅通，检查仪器加热功能是否正常。

13.3 测定时仪器应良好接地，避免对仪器和人员造成伤害。

附录 A
(资料性附录)
仪器期间核查记录

测试地点：_____ 测试人员：_____ 测试日期：_____

仪器型号及编号：_____ 仪器量程 (%Vol)：_____

标准湿气发生装置及编号：_____ 环境温度 (°C)：_____ 相对湿度 (%RH) _____

零气生产单位：_____ 纯度 (%)：_____ 有效期：_____

表 A.1 多点示值误差试验结果记录表

标准湿气湿度 (C_i)	测定值 (A_i)	平均值 (\bar{A}_i)	示值误差 (δ_i)

注：1. 待仪器运行稳定后，进行零点核查。合格后通过标准湿气发生装置分别通入<20% C.S.、40%~60% C.S.、80%~100% C.S.的标准湿气，待读数稳定后记录仪器显示值，重复操作3次，按照下式计算待测仪器测定每种浓度标准湿气的绝对误差或相对误差，最大值为待测仪器的示值误差。

$$\text{绝对误差: } \delta_i = \bar{A}_i - C_i$$

$$\text{或相对误差: } \delta_i = \frac{(\bar{A}_i - C_i)}{C_i} \times 100\%$$

式中： δ_i -----待测仪器测定第*i*种浓度标准湿气的示值误差。

C_i -----第*i*种浓度标准湿气的湿度，%Vol。

\bar{A}_i -----待测仪器测定第*i*种浓度标准湿气3次测定平均值，%Vol。

i-----待测标准湿气序号 (*i*=1~3)。

2. 测定值指标准湿气直接通入仪器的测定结果。

表 A.2 响应时间试验结果记录表

标准湿气湿度 (%Vol)	响应时间 t_{90} (秒)			
	第一次 (秒)	第二次 (秒)	第三次 (秒)	平均值 (秒)
<p>注：仪器完成多点示值误差测定后，通入适宜湿度的标准湿气，读数稳定后记录C_0；通入零气，待零点读数稳定后，再次通入标准湿气，同时用秒表开始计时，当仪器读数上升至90%C_0时停止计时，记录所用时间即为仪器的响应时间，重复通入零气和标准湿气操作3次，平均值为待测仪器的响应时间。</p>				

《固定污染源废气 湿度的测定 阻容法》

编制说明

《固定污染源废气 湿度的测定 阻容法》

团体标准编制组

二〇二〇年六月

团体标准名称： 固定污染源废气 湿度的测定 阻容法

组织单位：上海市环境科学学会

起草单位：上海市环境监测中心、南京埃森环境技术股份有限公司、青岛崂应环境科技有限公司、宝武装备智能科技有限公司、中检集团理化检测有限公司和华东理工大学。

起止时间： 2019 年 3 月~2020 年 7 月

目 录

1	项目背景.....	1
1.1	任务来源.....	1
1.2	工作过程.....	1
2	标准制定的必要性分析.....	2
2.1	湿度的定义.....	2
2.2	湿度的危害.....	4
2.3	相关环保标准和环保工作的需要.....	4
3	国内外相关方法研究.....	6
3.1	国外废气湿度测定方法研究.....	6
3.2	国内废气湿度测定方法研究.....	8
3.3	与本标准的关系.....	11
4	基本原则和技术路线.....	12
4.1	基本原则.....	12
4.2	适用范围和主要技术内容.....	13
4.3	技术路线.....	13
5	方法研究报告.....	14
5.1.	方法研究的目标.....	14
5.2.	适用范围.....	15
5.3.	规范性引用文件.....	15
5.4.	术语定义.....	16
5.5.	方法原理.....	17
5.6.	干扰和消除.....	17
5.7.	试剂和材料.....	20
5.8.	仪器和设备.....	21
5.9.	采样位置和采样点.....	32
5.10.	分析步骤.....	32
5.11.	结果计算与表示.....	33
5.12.	精密度和准确度.....	33
5.13.	质量保证和质量控制.....	34

5.14.	注意事项	34
5.15.	附录	35
6	方法比较	35
7	方法验证	37
7.1.	验证方案的制定工作	37
7.2.	验证方案内容	37
7.3.	方法验证过程	38
7.4.	方法验证报告	40
8	与开题报告的差异说明	40
9	标准实施建议	40
10	参考文献	40

1 项目背景

1.1 任务来源

2019年2月，上海市环境科学学会环境监测分会会长单位上海市环境监测中心发起《固定污染源废气含湿量的测定阻容法》的团体标准提案，经学会团体标准领导小组和团体标准审查委员会审查，该团体标准于2019年3月22日正式立项。标准起草单位为上海市环境监测中心、南京埃森环境技术股份有限公司、青岛崂应环境科技有限公司、宝武装备智能科技有限公司、中检集团理化检测有限公司和华东理工大学。

1.2 工作过程

(1) 发起标准提案（2019年2月）

根据《上海市环境科学学会团体标准管理办法》规定，上海市环境监测中心提出了《固定污染源废气湿度的测定阻容法》团体标准提案。由环境监测分会提交至学会团体标准工作办公室，经汇总和格式审查后，提交审查委员会审查。

(2) 提案审查立项（2019年3月）

标准提案经审查委员会审议讨论，获得参评委员2/3以上赞成票。2019年3月22日该团体标准正式立项。

(3) 成立标准编制组（2019年3月）

2019年3月25日，上海市环境监测中心牵头成立了标准编制组（以下简称“编制组”），由长期从事固定污染源废气监测和仪器研发制造的技术人员组成，并明确了承担单位的分工和职责。

(4) 文献资料查询（2019年4月）

编制组根据《国家环境保护标准制修订工作管理办法》的相关规定，检索、查询和收集国内外相关标准和文献资料，主要集中在固定污染源废气中湿度的测定方法及阻容法仪器设备的发展与应用情况等。

(5) 确定技术路线（2019年5~6月）

在广泛调研、初步研究的基础上，结合相关方法、仪器设备的使用情况及国内固定污染源废气监测的现实需求，初步确定方法的主要技术内容和技术路线，编写开题论证报告和标准草案。

(6) 开展研究工作，组织方法验证（2019年7~12月）

按照开题论证会确定的研究内容和技术路线，编制组开展了方法研究实验，确定和完善了标准草案的各项技术内容。选取上海市嘉定区环境监测站、上海市金山区环境监测站、上海市闵行区环境监测站、上海市宝山区环境监测站、上海纺织环保节能中心、上海市化工环境监测站 6 家单位作为本团体标准的方法验证实验室并开展方法研究及验证实验。

(7) 编写标准征求意见稿和编制说明（2020年1~7月）

在研究实验和验证实验的基础上，编制组不断补充和完善方法文本的各项技术内容，编制完成标准征求意见稿和编制说明（含方法验证报告）。

2 标准制定的必要性分析

2.1 湿度的定义

湿度是表示废气干湿程度的物理量，相关国家标准及文献中的定义或表述方式多样，尚未形成统一，常见定义或表述方式如下：

(1) 环境监测

《固定污染源排气中颗粒物与气态污染物采样方法》（GB/T16157-1996）中湿度的表述方式为“排气中水分含量”，未规定明确的定义，给出了干湿球法、冷凝法和重量法的计算公式。

➤ 干湿球法：

$$X_{sw} = \frac{P_{bv} - 0.00067(t_c - t_b)(B_a + P_b)}{B_a + P_s} \times 100$$

式中： X_{sw} —排气中水分含量体积百分数，%；

P_{bv} —温度为 t_b 时饱和水蒸汽压力，Pa；

t_b —湿球温度，℃；

t_c —干球温度，℃；

P_b —通过湿球温度计表面的气体压力，Pa；

B_a —大气压力，Pa；

P_s —测点处排气静压, Pa。

➤ 冷凝法:

$$X_{sw} = \frac{461.8(273 + t_r)G_w + P_v V_a}{461.8(273 + t_r)G_w + (B_a + P_r)V_a} \times 100$$

式中: X_{sw} —排气中水分含量体积百分数, %;

B_a —大气压力, Pa;

G_w —冷凝器中的冷凝水量, g;

P_r —流量计前气体压力, Pa;

P_v —冷凝器出口饱和水蒸汽压力, Pa;

Q'_r —转子流量计读数, L/min;

t —采样时间, min;

t_r —流量计前气体温度, °C。

➤ 重量法:

$$X_{sw} = \frac{1.24G_m}{V_d \left(\frac{273}{273 + t_r} \times \frac{B_a + P_s}{101300} \right) G_w + 1.24G_m} \times 100$$

式中: X_{sw} —排气中水分含量体积百分数, %;

G_m —吸湿管吸收的水分重量, g;

V_d —测定状态下抽取的干气体体积 ($V_a \approx Q'_r \times t$), L;

Q'_r —转子流量计读数, L/min;

t —采样时间, min;

P_r —流量计前气体压力, Pa;

t_r —流量计前气体温度, °C;

B_a —大气压力, Pa。

《空气和废气监测分析方法指南(上册)》规定,烟气湿度是指烟气中水蒸气的含量,通常用1kg干空气中含有的水蒸气量(gsw)或湿空气中水蒸气含量的体积百分数(X_{sw})表示。污染源烟尘监测中湿度通常用水蒸气体积百分数表示。

(2) 计量技术规范

《湿度与水分计量名词术语及定义》（JJF 1012-2007）规定，湿度是指气体中水蒸气的含量。

《湿度测定》规定：水分体积百分数是指在标准压力和温度下，湿空气中水汽所占有的体积与其总体之比。根据 Amagat 分体积定律和道尔顿定律，湿空气中水汽的体积百分数用下式计算。

$$V = \frac{e}{P} \times 100\%$$

式中：V—水分体积百分数，%；

e—水汽分压，Pa；

P—气体的总压力，Pa。

2.2 湿度的危害

湿法脱硫技术排放的低温高湿废气在烟囱或管道内壁易出现结露冷凝现象，影响管道结构的耐久性。其排放废气具有以下特点：

（1）废气处于水蒸气饱和状态，在废气压力和湿度的共同作用下，极易渗透到烟囱和管道结构内部，使管道结构遭受腐蚀；

（2）脱硫后的废气温度在 50℃左右，极易冷凝生成凝露水，主要成分为低浓度稀硫酸，对结构材料的腐蚀性特别强。以钢材为例，40~80 °C时的腐蚀速率比其他温度时高出约 3~8 倍；

（3）少数电厂由于燃煤的原因，废气含有一定量的氢氟酸，腐蚀性更复杂，只要相应温度情况出现，其腐蚀性在很短时间就会对钛钢复合板造成不可逆破坏。

2.3 相关环保标准和环保工作的需要

（1）低浓度颗粒物监测需要

《固定污染源废气 低浓度颗粒物的测定 重量法》（HJ836-2017）规定，废气水份含量的测定装置采用冷凝法、重量法和仪器法。仪器法测定装置通常由采样单元、湿度分析单元和数据处理与记录等单元构成，应具有湿度校准功能。冷凝法和重量法因设备结构复杂，环境条件和操作水平要求高，现场监测应用较少。仪器法的应用则越来越广泛，其中阻容法湿度测定仪因结构简单、体积小、操作方便、环境适应性强等特点，成为低浓度颗粒物测定时最常见

的湿度测定仪器。但标准只规定了仪器法的结构组成，未明确性能指标、测定方法和质量控制要求等。实际工作中，监测人员只能按照仪器说明书操作，未考虑校准溯源质控等问题，测定结果应用存在法律风险。

(2) 废气监测需要

《固定污染源废气 二氧化硫的测定 便携式紫外吸收法》（HJ1131-2020）和《固定污染源废气 氮氧化物的测定 便携式紫外吸收法》（HJ1132-2020）规定，采用热湿法测定废气样品的仪器应配置测定废气中水分含量的检测器，无需配置除湿装置，但应当同步测定废气中水分含量。（注：热湿法是指废气不经过冷凝除水而是直接测定高温湿态废气浓度的方法。）要实现上述标准要求，配置的湿度检测器必须具备结构简单，响应速度快，操作方便，适用范围广，成本较低等特点，因此采用热湿法的便携式紫外吸收法仪器大多配置了阻容法湿度检测器。只有尽快制定适用的阻容法湿度测定方法标准，准确测定废气湿度，才能确保采用热湿法的便携式紫外吸收法仪器的有效应用。

(3) 对水溶性污染物的监测采样影响

以二氧化硫为例，常用的监测方法有甲醛缓冲溶液吸收-盐酸副玫瑰苯胺分光光度法、碘量法、非分散红外法和定电位电解法等。在采样过程中，低温高湿废气因 SO_2 易溶于水，采集的气态污染物少于实际含量，导致测定结果偏低。

(4) 对污染物采样体积影响

现行固定污染源大气污染物排放标准中，污染物的浓度均指在标准状态下干烟气中污染物的含量，也就是干基浓度。换算成干基浓度主要由于烟气中含有水分，排放到大气环境中冷凝成液态水，减去水分体积能够更准确地表示污染物的浓度。采集同样含量的污染物，需要抽取的湿烟气体积大于干烟气体积。

(5) 对污染物排放速率影响

按照《固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法》（GB/T16157-1996）规定，污染物排放速率按下式计算：

$$G = \bar{C} \times Q_{sm} \times 10^{-6}$$

式中：G——污染物排放速率，kg/h；

C ——污染物实测排放浓度，mg/m³；

Q_{sn} ——标准状态下干排气量，m³/h。

标准状态下干排气量按下式计算：

$$Q_{sn} = Q_s \times \frac{B_a + P_s}{101325} \times \frac{273}{273 + t_s} (1 - X_{sw})$$

式中：Q_{sn}——标准状态下干排气量，m³/h；

B_a——大气压力，Pa；

P_s——排气静压，Pa；

t_s——排气温度，℃；

X_{sw}——排气中水分含量体积百分数，%。

上式可见，废气中污染物的排放速率与标准状态下干排气量成正比，且标准状态下干排气量与废气湿度直接相关，因此湿度测定的准确性直接影响排放速率的计算。

综上所述，为了固定污染源的采样和结果计算更加准确，需要及时制定适用的阻容法湿度测定标准，为固定污染源监测提供可靠的技术依据，进一步完善环境标准体系，以满足新形势下本市生态环境保护工作的需要。

3 国内外相关方法研究

3.1 国外废气湿度测定方法研究

编制组对主要国家、地区及国际组织（包括国际标准化组织、欧盟等）已经发布实施的固定污染源湿度测定方法进行了调研。

（1）美国测定方法

1988年EPA首次发布METHOD 4“Determination of Moisture Content in Stack Gases”，其中提出了三类废气湿度测定方法：

1) the Reference Method（参比方法）；

2) the Approximation Method（近似方法）；

3) Alternative Means for Approximating the moisture content（可选择方法）。

基本原理是以恒定速率采集污染源废气，水分从废气中分离并采用体积法或重量法测定。参比方法为重量法，方法要求冷凝吸湿后称重，使用天平称重精确到 0.5g。适用于污染源废气计算干基或湿基污染浓度和排风量换算所需湿度的测定；近似方法为冷凝法，结果为估算值，不能直接参与污染物排放计算，除非近似方法的结果满足使用需要-误差控制在参比方法的 1%以内；可供选择的方法包括干燥管法、干湿球法、冷凝法、化学计算法、经验法等，也不能参与污染物排放计算。

1993年 EPA 发布“EMC ALT-008 Alternative Method Moisture Midget Impingers”，该方法是 EPA METHOD 4 的改进，也属于重量法。

俄勒冈州发布的 Oregon Method 4 (wet bulb/dry bulb) “Determination of Moisture Content of Stack Gases” (Alternate Method) 规定了干湿球法作为一种可供选择的方法，采用将干湿球直接插入烟道内进行测定的方式。

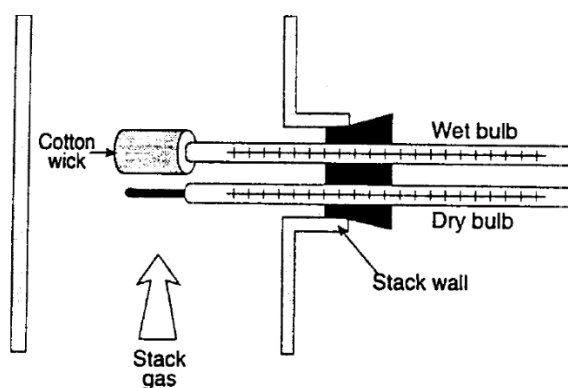


图 1 干湿球法示意图

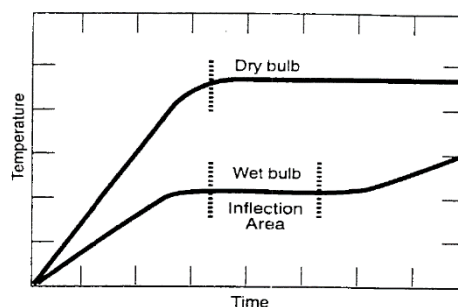


图 2 干湿球温度变化曲线和最佳测定时段

如存在以下情况会显著影响湿球测定值，并导致错误的结果：

- 1) 气体中的酸性气体浓度如 SO_2 、 SO_3 、 HCL ；
- 2) 气体中的烃类物质浓度；
- 3) 气体压力与大气压力差别明显。

如存在以上干扰因素，应该选择其它方法测定废气湿度。同时指出干湿球法也不适用以下类型的工况：

- 1) 废气温度过高（高于 260℃）；
- 2) 废气流速过高或过低；
- 3) 高浓度的颗粒物会粘结污染湿球的纱布。

（2）欧盟测定方法

CSN EN14790: 2017“Stationary Source Emissions-Determination of the Water Vapour in Ducts”规定了标准方法为冷凝吸湿法。方法测定范围体积浓度为 4%~40%RH，质量浓度范围为 29g/m³~250g/m³。该方法也属于重量法，测定的废气湿度可以参与污染物排放的计算，但不能用于水蒸气饱和状态。方法规定了废气中液滴的处理方法，可应用于焚烧企业。

3.2 国内废气湿度测定方法研究

（1）测定方法

现行固定污染源废气湿度监测方法标准主要参照《固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法》（GB/T 16157-1996）和《固定源废气监测技术规范》（HJ/T 397-2007）。

GB/T 16157 规定，排气中水分含量应根据不同的测定对象选用冷凝法、干湿球法或重量法中的一种方法测定。

➤ 干湿球原理：使气体在一定的速度下流经干、湿球温度计。根据干、湿球温度计的读数和测点处排气压力，计算出排气的水分含量。

由于干湿球法在现场操作时相对方便，各级监测部门以及社会监测机构均以干湿球法作为常规测定方法。但测定烟温 100℃以上的废气湿度准确性较差，对测定断面要求高，测定过程中稳定读数时间难以控制，难以校准溯源，采取手工测定方式，人工计算结果，尤其不能满足湿度在线监测系统比对的连续测定要求。

➤ 冷凝法原理：由烟道中抽取一定体积的排气使之通过冷凝器，根据冷凝出来的水量，加上从冷凝器排出的饱和气体含有的水蒸汽量，计算排气中的水分含量。

▶ 重量法原理：由烟道中抽取一定体积的排气，使之通过装有吸湿剂的吸湿管，排气中的水分被吸湿剂吸收。吸湿管的增重即为已知体积排气中含有的水分量。

重量法优势在于使用经验成熟，重现性准确性较高。但无法即时获取数据，测定周期较长，设备便携性较差，人员操作要求高。适用于工作量较少，精确度要求较高的执法监督测定。

HJ/T397 规定，基于干湿球法原理的湿度自动测定装置，其微处理器控制传感器测定、采集湿球、干球表面温度、以及通过湿球表面的压力及排气静压等参数，同时由湿球表面温度导出该温度下的饱和水蒸汽压力，结合输入的大气压，根据公式自动计算出废气湿度。其他冷凝法、干湿球法或重量法测定要求与 GB/T 16157 相同。

《固定污染源废气 低浓度颗粒物的测定 重量法》（HJ836-2017）规定，冷凝法和重量法测定装置应分别符合 GB/T 16157 中冷凝法和重量法废气中含量测定装置的要求。仪器法测定装置通常由采样单元、湿度分析单元和数据处理与记录等单元构成，应具有湿度校准功能。

常见仪器法的基本原理及优缺点如下，使用时需根据实际监测需要选取适用的方法。

阻容式湿度传感器包括湿敏电容、加热器、烟温传感器三部分。废气中水蒸气含量的变化引起湿敏电容值变化，经电路处理和算法处理后得到湿度。适用于 0~180℃的废气湿度测定。在高温条件下，与其他方法相比，阻容法具有更好的稳定性，因为体积小、操作方便，环境适应性强等特点，在国内固定污染源监测中已广泛应用。根据进样方式不同又分为原位式和抽取式。目前市场上大部分产品采用原位式，少数产品采用抽取式。原位式的优点在于结构简单，便于一体化设计，功耗更小，可内置电池工作。缺点在于结构固定，适用场景存在局限。抽取式的优点在于前端加热取样管可以随意延伸，适用场景更广泛。缺点是抽气泵和加热管线功耗大，需采用外接电源，便携性不足。

半导体激光吸收光谱法测定废气湿度的原理为利用激光能量被气体分子“选频”吸收形成吸收光谱测定气体浓度。由半导体激光器发射出特定波长的激光束（仅能被被测气体吸收），穿过被测气体时，激光强度的衰减与被测气体浓

度成一定函数关系，因此，通过测定激光强度衰减信息可分析获得被测气体的浓度。精密度和准确度较好；可以实时测定和存储数据。但仪器价格昂贵，操作维护要求较高。只适用于在线监测，不适用于现场监测。

干/湿氧法通过氧化锆检测器测定废气中的湿氧含量和脱水后的干氧含量（双检测器测定），根据标准计算方法得到废气中的湿度含量。具有操作简便、无需温度稳定、测试温度高（0~650℃）等优势。但由于氧化锆的物理特性，含硫化物（还原性气体）的废气测定会产生一定干扰；如废气温度骤然变冷或含有大量水蒸气时锆管容易炸裂。适用于抽取冷干法原理的 CEMS 系统，不适用于现场监测。

红外吸收法是利用每一种分子所特有的一组“特征吸收带”，根据吸收光谱的强弱和所在的波段来测定水分的含量。湿度测定主要是利用近红外区，其波长范围从 0.76 μm 到 15 μm ，相应的波数为 13160 cm^{-1} 到 677 cm^{-1} 。对于低湿范围的测定，有很高的灵敏度。在非常宽的水汽浓度范围内有快速响应的特性，能连续测定瞬时湿度。但仪器的结构复杂，价格比较昂贵，易受压力和温度等因素影响。

微波湿度计原理为微波湿度计是利用 cm 或 mm 级的电磁波在介质中传播的特性进行湿度与水分测定的仪器，这些特性包括能量损耗、折射和反射等。测定的对象可以是固体、液体或气体。由于不同的物质有不同的介电常数，而水的介电常数比许多物质高得多，因此物质中含水量发生微小的变化，都会使复合介电常数发生变化，当微波通过被测介质时，其能量亦随介电常数而变化。微波折射仪传感器部分由两个腔式谐振器组成，一个是参比腔，其中充满干气，另一个是试样腔，充以被测气体，通过两个谐振频率之差的测定，即可测定气体的湿度。该方法对于中等以上的湿度测定具有良好的重复性，而且操作简单，价格也较低、灵敏度和准确度高、量程宽和性能稳定，美国标准局已将它列为二级标准。但影响因素多，包括标准频率发生器的误差、经验常数误差、以及温度、压力和参比气的干燥程度等，需要经常进行修正。

压电吸收法原理为当物质受到机械压力作用时能产生电压，反之在电压作用下会发生机械形变的现象。检测器晶体表面涂覆一层吸水物质。当吸水膜吸收水分时，晶体的质量增加，从而改变了它的振荡频率，通过质量变化与频

率改变之间的关系，建立检测器信号与涂覆晶体性能的定量关系，从而换算得到湿度。涂覆对水分以外的气体不敏感，适用于检测工业气体的含水量。具有灵敏度高、检测快速等优点，测定信号以频率的形式输出，便于遥测和数字直读。

(2) 排放标准

现行国家和上海市固定污染源排放标准均规定排放限值以干烟气为基准，因此湿度成为废气测定的重要参数。

表 1 国家和上海市主要排放标准中湿度相关要求

标准名称	标准要求
《大气污染物综合排放标准》 (GB16297-1996)	本标准规定的各项标准值，均以标准状态下的干空气为基准。
《火电厂大气污染物排放标准》 (GB13223-2011)	本标准中所规定的大气污染物浓度均指标准状态下干烟气的数值。
《锅炉大气污染物排放标准》 (GB13271-2014)	
上海市《大气污染物综合排放标准》 (DB 31/933-2015)	本标准规定的大气污染物排放浓度限值均以标准状态下的干气体为基准。
上海市《锅炉大气污染物排放标准》 (DB 31/387-2018)	本标准中所规定的大气污染物浓度均指标准状态下干烟气的数值。
上海市《生活垃圾焚烧大气污染物排放标准》(DB 31/768-2013)	本标准规定的各项污染物的排放限值，均指在标准状态下以11% (V/V%) O ₂ (干烟气) 作为折算基准折算后的浓度。
上海市《危险废物焚烧大气污染物排放标准》(DB 31/767-2013)	
《固定污染源废气 (SO ₂ 、NO _x 、颗粒物) 连续排放监测技术规范》(HJ75-2017)	湿度准确度要求：烟气湿度>5.0%时，相对误差不超过±25%；烟气湿度≤5.0%时，绝对误差不超过±1.5%。
《固定污染源废气 (SO ₂ 、NO _x 、颗粒物) 连续排放监测技术要求及检测方法》(HJ76-2017)	采用氧传感器通过测定烟气含氧量计算得到烟气湿度。

3.3 与本标准的关系

表 2 国内外湿度测定方法标准概况

国别	标准名称	标准特点	与本标准关系
美国	METHOD 4 "Determination of Moisture Content in Stack Gases"	参比方法为重量法，测定结果可参与污染物排放计算；近似方法为冷凝法，可供选择的方法包括干燥管法、干湿球法、冷凝法、化学计算法、经验法等。测定结果均不能直接参与污染物排放计算。	未规定阻容法为代表的仪器法测定方法。
	EMC ALT-008 Alternative Method Moisture Midget Impingers	EPA METHOD 4 的改进，属于重量法。	未规定阻容法为代表的仪器法测定方法。
	Oregon Method 4	干湿球法作为一种可供选择的方	未规定阻容法为代

	“Determination of Moisture Content of Stack Gases”	法。	表的仪器法测定方法。
欧盟	CSN EN14790: 2017 “Stationary Source Emissions-Determination of the Water Vapour in Ducts”	标准方法为冷凝吸湿法，也属于重量法，测定结果可参与污染物排放计算。	未规定阻容法为代表的仪器法测定方法。
中国	《固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法》（GB/T 16157-1996）	根据不同的对象选用冷凝法、干湿球法或重量法中的一种方法测定。	未规定阻容法为代表的仪器法测定方法。
	《固定源废气监测技术规范》（HJ/T 397-2007）	定义了基于干湿球法原理的湿度自动测定装置原理。其他冷凝法、干湿球法或重量法测定要求与 GB/T 16157 相同。	未规定阻容法为代表的仪器法测定方法。
	《固定污染源废气 低浓度颗粒物的测定 重量法》（HJ836-2017）	冷凝法和重量法测定装置应分别符合 GB/T 16157 中冷凝法和重量法测定装置的要求；仪器法测定装置通常由采样单元、湿度分析单元和数据处理与记录等单元构成，应具有湿度校准功能。	未明确仪器法的性能指标、测定方法和质量控制要求等。

根据调研结果可知，国外固定污染源废气湿度的测定主要采用重量法，未发布阻容法方法标准，对本标准的制订工作不能提供直接的参考和借鉴。

国内已发布的阻容法相关标准中，《湿度测定方法》（GB/T11605-2005）主要规定了环境空气湿度的测定范围和基本方法，不适用于固定污染源废气。2017年发布的 HJ 836 明确规定废气中水分含量的测定方法为冷凝法、重量法和仪器法，取消干湿球法。但标准只是规定仪器法可以用于低浓度颗粒物废气湿度测定，未明确阻容法的性能指标、测定方法和质量控制要求等。

本标准制定将参考国内既有的相关标准，同时依照《环境监测 分析方法标准制修订技术导则》（HJ 168-2010）的有关规定开展标准制定工作。通过实验确定技术指标、仪器条件、方法干扰、特性指标参数及质量保证和质量控制等内容，建立适用于我国国情的固定污染源废气湿度的阻容法方法标准，更加准确快捷地测定湿度。

4 基本原则和技术路线

4.1 基本原则

依照科学性、先进性和可操作性的原则，本标准制定依据《国家环境保护标准制修订工作管理办法》、《标准化工作导则第 1 部分：标准的结构和编写》（GB/T 1.1-2009）以及《环境监测 分析方法标准制修订技术导则》（HJ 168-2010）等的规定要求，体现其管理思路，将管理技术化和规范化。

本标准制定符合以下要求：

1) 方法测定范围满足环保标准和环保工作的要求。

参考美国和欧盟等国家和地区相关标准，在我国现有标准、规定和实际要求的基础上，立足于国内生产的阻容法湿度测定仪器，确定方法的检出限、测定下限和测定范围等。

2) 方法稳定可靠，满足各项方法特性指标的要求。

依照 HJ 168 的有关规定，开展实验室和现场实验，以保证方法切实稳定可靠，且能满足特性指标要求。

3) 方法具有普遍适用性，易于推广使用。

邀请设备厂商验证该方法适用的普遍性，以保证后期标准推广使用。

4.2 适用范围和主要技术内容

(1) 适用范围

本标准规定了测定固定污染源废气湿度的阻容法。本标准适用于固定污染源废气湿度的测定。

(2) 主要技术内容

本标准的主要技术内容包括适用范围、规范性引用文件、术语和定义、方法原理、干扰和消除、试剂和材料、仪器和设备、采样位置和采样点、分析步骤、结果计算与表示、精密度和准确度、质量保证和质量控制和注意事项等。

4.3 技术路线

在参考国内外文献资料基础上，通过验证实验确定方法检出限、测定下限、测定范围、精密度和准确度等方法特性指标，完善质量保证和质量控制内容，并进行方法验证，保证方法的科学性、规范性和可操作性。本标准的制定技术路线见下图。

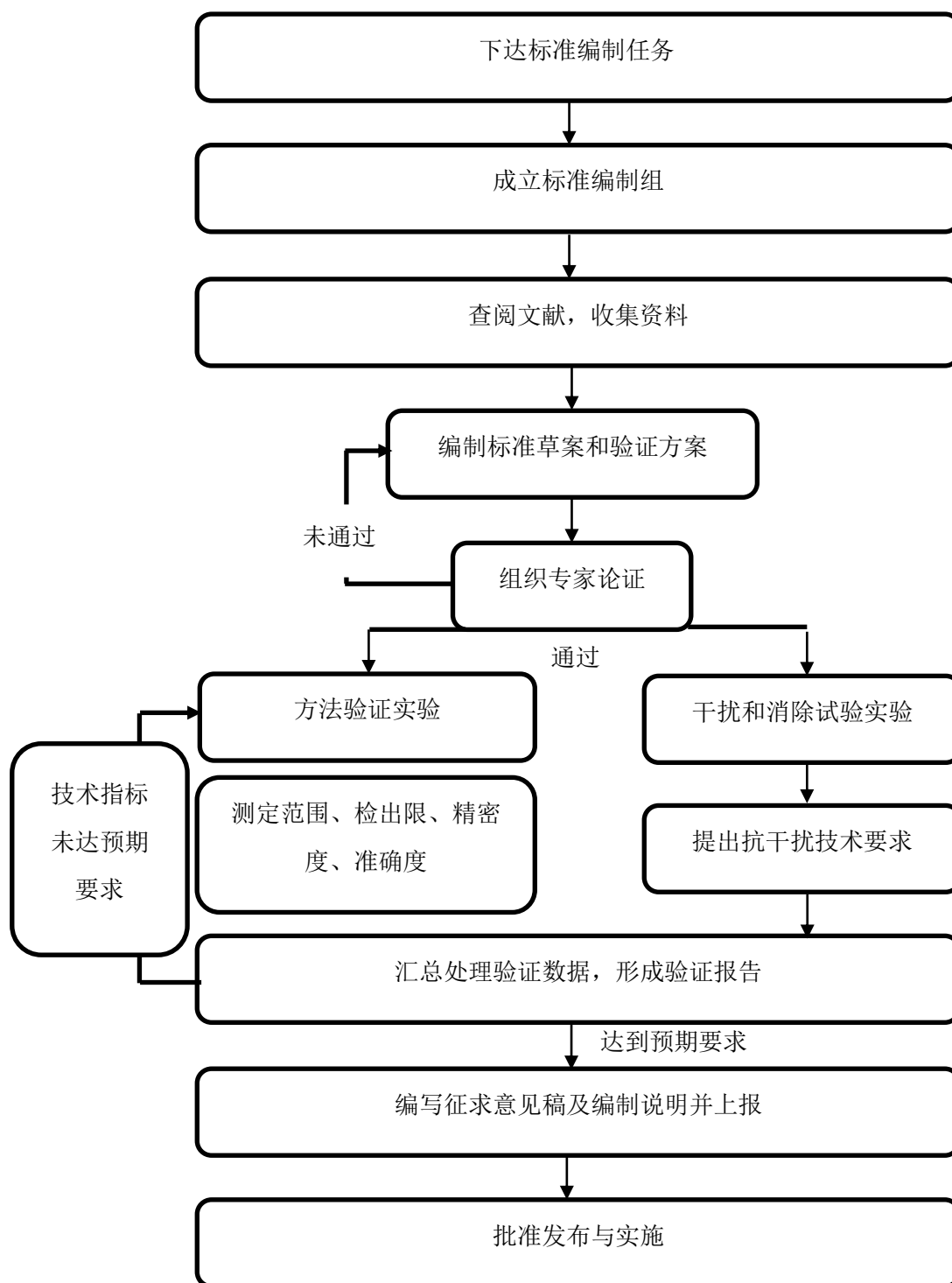


图 3 标准制修订的技术路线

5 方法研究报告

5.1. 方法研究的目标

本标准研究的目的是制定测定固定污染源废气中湿度的阻容法。本标准制定过程中，严格按照开题论证确定的技术路线开展研究，达到了既定的目标。

为了便于标准的使用以及结果的计算与表示等，通过方法研究实验和方法验证实验，明确了本标准的方法检出限、测定下限。

为了能够获得准确、可靠的监测数据，标准制定过程中加强质控技术研究，明确了质量保证和质量控制要求，规定了注意事项等。

标准制定过程中，编制组注重研究和提高方法的适用性，开展了干扰因子调查分析，进行了干扰试验和干扰消除试验，得出了干扰及消除的要求，达到了开题论证时确定的目标。

5.2. 适用范围

本标准规定了测定固定污染源废气中湿度的阻容法。

本标准适用于固定污染源废气中湿度的测定。

方法检出限为 0.20%Vol，测定下限为 0.80%Vol，测定范围为 0~40%Vol。

说明：

根据 HJ 168 第 7.6 条的规定（适用范围中应说明该标准适用的环境监测要素，被分析对象名称以及分析方法），因此本标准规定“本标准规定了测定固定污染源废气中湿度的阻容法”。

此部分内容的标题为“适用范围”，同时参照《固定污染源废气 氮氧化物的测定 非分散红外吸收法》（HJ 692-2014）、《固定污染源废气 氮氧化物的测定 定电位电解法》（HJ 693-2014）等规定，在此部分规定“本标准适用于固定污染源废气中湿度的测定”。

根据 HJ 168 第 7.6 条的规定：适用范围中应说明被分析对象的检出限、测定下限和测定上限（必要时）或测定范围，上限（必要时）或测定范围。

验证结果显示 6 家实验室验证数据计算得到检出限最大值为 0.07 %Vol，综合考虑阻容法仪器精度和零气的湿度范围，规定：“本标准的方法检出限为 0.20 %Vol，测定下限为 0.80 %Vol”。

根据市售阻容法仪器的传感器性能，本标准规定了测定范围为 0~40%Vol。

5.3. 规范性引用文件

GB/T 16157	固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法
HJ 75	固定污染源废气（SO ₂ 、NO _x 、颗粒物）连续排放监测技术规范
HJ 836	固定污染源废气 低浓度颗粒物的测定 重量法
HJ/T 373	固定污染源监测质量保证与质量控制技术规范（试行）
HJ/T 397	固定源废气监测技术规范

说明：

依据标准的主要技术内容以及正文中引用到的标准情况，在规范性引用文件中列明。

5.4. 术语定义

为了便于标准内容理解和使用，结合本标准内容，列出了湿度、标准湿气、校准量程、示值误差和响应时间五个术语和定义。

说明：

依据 HJ 168 的规定，“术语和定义”是标准的可选要素。

湿度的定义参考《空气和废气监测分析方法指南（上册）》中规定：烟气湿度是指烟气中水蒸气的含量，通常用 1kg 干空气中含有的水蒸气量（ g_{sw} ）或湿空气中水蒸气含量的体积百分数（ X_{sw} ）表示。

标准中示值误差检查需要使用标准湿气，根据标准湿气的组成和来源列出术语和定义：以清洁空气或纯氮气为载气，通过发生装置产生的具有一定浓度，均匀分布水蒸气的气体。

校准量程的定义参照《固定污染源废气 二氧化硫的测定 定电位电解法》（HJ57-2017）的规定：仪器的校准上限，为校准所用标准湿气的湿度（进行多点校准时，为校准所用标准湿气的最高湿度），校准量程应小于或等于仪器的满量程。

示值误差的定义参照了 EPA method 7E 第 3.1 条和 HJ 57 第 3.3 条的规定：标准湿气直接通入仪器的测定结果与标准湿气湿度之间的误差。

响应时间的定义参照《环境空气和废气 挥发性有机物组分 便携式傅里叶红外监测技术要求和检测方法》（HJ 1011-2018）的规定：仪器零点读数稳定后，通入校准量程湿度的标准湿气时刻起，到其读数达到其标称值 90%（ t_{90} ）的时刻止，中间的时间间隔。

5.5. 方法原理

废气中的水分子渗透扩散至湿敏元件引起阻抗变化，根据湿度和阻容值的函数关系，并进行压力和温度补偿计算，得出废气湿度。

说明：

阻容法的基本原理是水分子渗透扩散至湿敏元件引起阻抗变化，湿度与阻容值成函数关系。利用湿度传感器、温度传感器和测压管测得废气的相对湿度、温度和压力，进行压力温度补偿计算，得出废气湿度。

5.6. 干扰和消除

依据开题论证意见，编制组开展了干扰因素调查分析、干扰试验、干扰消除试验等，得出了干扰和消除的要求，具体得出过程如下：

5.6.1 干扰因素

根据资料调研及应用经验，提出阻容法湿度传感器可能受废气组分（如二氧化硫、氮氧化物和氨气）的干扰。

5.6.2 干扰试验和结果

试验方法：在 80℃和 120℃条件下，待仪器运行稳定后，通入标准湿气，记录仪器读数 a ；按照下表加入干扰因素，记录待测仪器读数 b 。标准湿气和每种干扰因素按上述操作重复测试 3 次，计算平均值 \bar{a} 和 \bar{b}_i ，按下式计算仪器每种干扰因素的影响 IE_i 。

表 3 湿度测定干扰因素

干扰类别	干扰名称	测试参数
干扰气体	二氧化硫	500 mg/m ³
	一氧化氮	300 mg/m ³
	氨气	3 mg/m ³

$$IE_i = (\bar{b}_i - \bar{a})/R$$

式中： IE_i -----仪器测定第 i 种干扰因素的影响；

\bar{b}_i -----第 i 种干扰因素 3 次测定的平均值；

\bar{a} -----标准湿气 3 次测定平均值；

R -----仪器量程；

i -----测试干扰因素的序号 ($i=1\sim5$)。

表 4 80℃干扰试验测试结果

测试过程：80±3℃下发出 5.00 %Vol 和 15.00 %Vol 的标准湿气，分别通入 SO₂ (500mg/m³)、NO (300mg/m³)、NH₃ (3mg/m³)。

测试环境：22.5℃、45.5%RH

单位：%Vol

干扰因素	次数	标准湿气	仪器 1#	仪器 2#	仪器 3#
80℃ 标准湿气	1	4.7	5.6	5.19	4.47
	2	4.7	5.6	5.24	4.52
	3	4.7	5.6	5.25	4.53
	平均值	4.7	5.6	5.23	4.51
SO ₂ (500mg/ m ³)	1	5	5.66	5.24	4.5
	2	5	5.66	5.24	4.51
	3	5	5.66	5.24	4.51
	平均值	5	5.66	5.24	4.51
	干扰影响	-	0.15%	0.025%	0.00 %
NO (300mg/ m ³)	1	5.1	5.74	5.31	4.56
	2	5.1	5.74	5.32	4.57
	3	5.1	5.74	5.32	4.58
	平均值	5.1	5.74	5.32	4.57
	干扰影响	-	0.35%	0.225%	0.15%
NH ₃ (3mg/ m ³)	1	5.1	5.85	5.41	4.59
	2	5.1	5.85	5.42	4.6
	3	5.1	5.85	5.42	4.61
	平均值	5.1	5.85	5.42	4.60
	干扰影响	-	0.625%	0.475%	0.225%
80℃ 标准湿气	1	15.37	15.36	14.49	12.61
	2	15.37	15.38	14.52	12.6
	3	15.37	15.42	14.51	12.64
	平均值	15.37	15.38	14.51	12.62
SO ₂ (500mg/ m ³)	1	15.75	15.80	15.08	13.07
	2	15.75	15.80	15.07	13.07
	3	15.75	15.81	15.07	13.07
	平均值	15.75	15.80	15.07	13.07
	干扰影响	-	1.05%	1.4%	1.125%

NO (300mg/ m ³)	1	15.75	15.80	14.91	12.92
	2	15.75	15.80	14.92	12.95
	3	15.75	15.81	14.94	12.95
	平均值	15.75	15.81	14.92	12.94
	干扰影响	-	1.075%	1.025%	0.8%
NH3 (3mg/ m ³)	1	15.68	15.66	14.76	12.83
	2	15.68	15.66	14.77	12.84
	3	15.68	15.66	14.78	12.82
	平均值	15.68	15.66	14.77	12.83
	干扰影响	-	0.7%	0.65%	0.525%

表 5 120℃干扰试验测试结果

测试过程：80±3℃下发出 5.00 %Vol 和 15.00 %Vol 标准湿气，分别通入 SO₂ (500mg/m³)、NO (300mg/m³)、NH₃ (3mg/m³)。

测试环境：22.5℃、45.5%RH

单位：%Vol

干扰成分	次数	标准湿气	仪器 1#	仪器 2#	仪器 3#
120℃ 标准湿气	1	5	4.28	2.55	3.52
	2	5	4.28	2.58	3.52
	3	5	4.31	2.59	3.53
	平均值	5	4.29	2.57	3.52
SO ₂ (500mg/ m ³)	1	5	4.32	2.87	3.56
	2	5	4.34	2.89	3.57
	3	5	4.35	2.9	3.56
	平均值	5	4.34	2.89	3.56
	干扰影响	-	0.125%	0.775%	0.1%
NO (300mg/ m ³)	1	5	4.32	3.03	3.41
	2	5	4.32	3.02	3.4
	3	5	4.32	3.03	3.39
	平均值	5	4.32	3.03	3.40
	干扰影响	-	0.075%	1.15%	-0.3%
NH3 (3mg/ m ³)	1	5	4.46	3.13	3.63
	2	5	4.46	3.14	3.62
	3	5	4.46	3.13	3.61
	平均值	5	4.46	3.13	3.62
	干扰影响	-	0.3%	1.4%	0.25%

120℃ 标准湿气	1	14.87	13.59	11.92	10.71
	2	14.87	13.58	11.94	10.71
	3	14.87	13.59	11.95	10.7
	平均值	14.87	13.59	11.94	10.71
SO ₂ (500mg/ m ³)	1	14.48	13.49	11.96	10.58
	2	14.48	13.48	11.95	10.55
	3	14.48	13.47	11.89	10.51
	平均值	14.48	13.48	11.93	10.55
	干扰影响	-	-0.275%	-0.025%	-0.4%
NO (300mg/ m ³)	1	14.81	13.44	11.82	10.51
	2	14.81	13.44	11.81	10.53
	3	14.81	13.44	11.82	10.52
	平均值	14.81	13.44	11.82	10.52
	干扰影响	-	-0.375%	-0.3%	-0.475%
NH ₃ (3mg/ m ³)	1	14.81	13.35	11.82	10.41
	2	14.81	13.37	11.81	10.41
	3	14.81	13.36	11.82	10.41
	平均值	14.81	13.36	11.82	10.41
	干扰影响	-	-0.58%	-0.30%	-0.75%

干扰测试结果显示，SO₂的干扰响应范围为-0.40~1.42%，NO的干扰响应范围为-0.46~1.14%，NH₃的干扰响应范围为-0.70~1.43%。三种因子对湿度测定结果干扰均较小，不需要采取消除干扰措施，因此标准中不考虑这三种因子的干扰。

5.6.3 干扰消除方法及要求

废气中的颗粒物容易污染湿度传感器，应采用过滤器除尘等方法消除或减少废气中颗粒物对仪器的污染。

说明：

- (1) 通过干扰试验，确定阻容法传感器未见明显的干扰因子，不需要提出相关干扰要求。
- (2) 由于阻容法仪器的工作方式与其他传感器法仪器类似，为避免颗粒物的影响，参考 HJ 57 第 5.1 条和 HJ 693 第 5 条的规定，应采用过滤器除尘等方法消除或减少。

5.7. 试剂和材料

5.7.1标准湿气发生装置：市售标准湿气发生装置，发生湿度范围0~40%Vol，精度不超过±0.5%Vol。

说明：

标准湿气用于阻容法仪器的核查或校准。气体湿度与温度、压力等相关，难以保持稳定，目前尚无市售标准湿气产品，需通过市售标准湿气发生装置现场发出。要求发湿范围与阻容法测定范围一致 0~40%Vol，精度不超过±0.5%Vol。

5.7.2 零气

纯度≥99.999%的氮气或除水后环境空气，湿度≤0.20%Vol。

说明：

为保证测定结果可靠，本标准中规定了零点检查要求，需要用到零气。零气要具备质量合格、价格合理且获取方便等特点，规定零气为符合 GB 8979 要求，纯度不低于 99.999%的氮气或除水后环境空气。

为调查纯氮气的湿度，课题组购置主要品牌纯度≥99.999%的氮气，测定各品牌氮气的湿度范围。测试方法：待测仪器运行稳定后，通入氮气，待读数稳定后记录显示值。使用 2 瓶同一品牌氮气各重复上述测试操作至少 6 次，计算 6 次的平均值。

表 6 零气湿度测试数据

零气：99.999% 氮气

测试环境：22.5℃、45.5%RH

单位：%Vol

序号	A 品牌		B 品牌		C 品牌	
	1#	2#	1#	2#	1#	2#
1	0.14	0.18	0.18	0.14	0.13	0.13
2	0.15	0.16	0.13	0.12	0.14	0.13
3	0.13	0.16	0.13	0.14	0.12	0.13
4	0.15	0.15	0.12	0.15	0.13	0.14
5	0.14	0.16	0.13	0.14	0.13	0.13
6	0.13	0.17	0.13	0.14	0.13	0.13
平均值	0.14	0.16	0.14	0.14	0.13	0.13

测试结果显示，零气湿度测定结果为 0.13 ~0.18 %Vol。因此规定零气湿度要求≤0.20 %Vol。

5.8. 仪器和设备

5.8.1 阻容法湿度测定仪组成

阻容法湿度测定仪（以下简称“仪器”）组成：样品采集传输单元、预处理单元、分析单元、数据采集处理单元。

(1) 样品采集传输单元

包括采样探头、传输管线和加热装置等。

(2) 预处理单元

包括过滤装置，具备防水、防尘功能。预处理的材料和安装应不影响测定结果。

(3) 分析单元

用于湿度测定分析的阻容式传感器，具备温度、压力补偿功能和校准功能。

(4) 数据采集处理和传输单元

用于采集处理数据，具备记录存储和打印功能。

5.8.2 性能要求

(1) 示值误差：校准量程 $\leq 5\% \text{Vol}$ 时，绝对误差不超过 $\pm 0.75\% \text{Vol}$ ；校准量程 $> 5\% \text{Vol}$ 时，相对误差不超过 $\pm 15\%$ 。

(2) 响应时间： ≤ 60 秒。

说明：

依据 HJ 168 仪器和设备是标准的必备要素。

为获得可靠的测定结果，保障所用测定仪的受控性，从仪器组成和性能要求两方面做出规定：

(1) 仪器组成

参考 GB/T16157 和 HJ 397 中仪器直接测试法的系统组成：其采样系统由采样管、颗粒物过滤器、除湿器、抽气泵和测定仪等组成。本标准规定“测定仪组成包括样品采集传输单元、预处理单元、分析单元和数据采集处理。”

(2) 性能要求

➤ 示值误差

为测试仪器的性能要求，课题组开展了一系列测试。待测仪器运行稳定后，在测试温度为 40°C 、 80°C 、 110°C 、 140°C 条件下，通入 $4.00\% \text{Vol}$ 、 $8.00\% \text{Vol}$ 、 $10.00\% \text{Vol}$ 、 $12.00\% \text{Vol}$ 、 $18.00\% \text{Vol}$ 、 $28.00\% \text{Vol}$ 的标准湿

气，待读数稳定后按分钟保存测定数据，作为一次测定。分别记录各浓度标准湿气的显示值，重复测试 6 次。按下式计算待测仪器测定每种浓度标准湿气的示值误差 L_{ei} 。

$$\text{绝对误差: } L_{ei} = \overline{C_{di}} - C_{si} \text{ 或}$$

$$\text{相对误差: } L_{ei} = \frac{(\overline{C_{di}} - C_{si})}{C_{si}} \times 100\%$$

式中： L_{ei} -----待测仪器测定第 i 种湿度标准湿气的示值误差；

C_{si} -----第 i 种浓度标准湿气湿度标称值；

$\overline{C_{di}}$ -----待测仪器测定第 i 种浓度标准湿气 3 次测定平均值；

i -----测定标准湿气序号 ($i=1\sim3$) ；

表 7 40℃多点示值误差测试结果

单位： %Vol

序号	标准湿气	A 厂家 1#	A 厂家 2#	标准湿气	B 厂家 1#	B 厂家 2#	B 厂家 3#
1	4.10	4.22	3.96	4.05	4.20	4.31	4.32
2	4.10	4.21	3.97	3.95	4.18	4.31	4.31
3	4.10	4.23	3.95	3.95	4.17	4.30	4.32
4	4.15	4.22	3.96	4.00	4.17	4.29	4.32
5	4.15	4.23	3.97	3.98	4.17	4.29	4.32
6	4.15	4.24	3.96	4.05	4.19	4.29	4.32
平均值	4.13	4.23	3.96	4.00	4.18	4.30	4.32
绝对误差	-	0.10	-0.16	-	0.18	0.30	0.32
相对误差	-	2.42%	-3.96%	-	4.59%	7.55%	8.05%
标准偏差	-	0.01	0.01	-	0.01	0.01	0.00
相对标准偏差	-	0.25%	0.19%	-	0.30%	0.23%	0.09%

表 8 80℃多点示值误差测试结果

单位： %Vol

序号	标准湿气	A 厂家 1#	A 厂家 2#	标准湿气	B 厂家 1#	B 厂家 2#	B 厂家 3#
1	4.06	4.12	3.85	3.98	3.95	4.12	4.23
2	4.06	4.11	3.84	4.06	3.96	4.12	4.21

3	4.06	4.12	3.86	4.06	3.98	4.18	4.26
4	4.03	4.1	3.85	4.03	3.98	4.18	4.24
5	4.03	4.09	3.84	3.98	3.97	4.17	4.25
6	4.03	4.1	3.84	3.95	3.94	4.14	4.26
平均值	4.05	4.11	3.85	4.01	3.96	4.15	4.24
绝对误差	-	0.06	-0.20	-	-0.05	0.14	0.23
相对误差	-	1.52%	-4.90%	-	-1.16%	3.53%	5.78%
标准偏差	-	0.01	0.01	-	0.02	0.03	0.02
相对标准偏差	-	0.29%	0.21%	-	0.41%	0.69%	0.46%
1	7.88	7.59	7.25	7.92	7.76	8.15	8.15
2	7.88	7.6	7.24	7.92	7.75	8.14	8.15
3	7.83	7.58	7.24	7.87	7.76	8.13	8.17
4	7.83	7.59	7.23	7.87	7.75	8.14	8.15
5	7.79	7.57	7.24	7.87	7.76	8.13	8.15
6	7.79	7.58	7.22	7.92	7.78	8.14	8.15
平均值	7.83	7.59	7.24	7.90	7.76	8.14	8.15
绝对误差	-	-0.25	-0.60	-	-0.14	0.24	0.26
相对误差	-	-3.17%	-7.62%	-	-1.71%	3.08%	3.27%
标准偏差	-	0.01	0.01	-	0.01	0.01	0.01
相对标准偏差	-	0.14%	0.14%	-	0.14%	0.09%	0.10%
1	9.79	9.63	9.47	10.01	10.00	10.49	10.47
2	9.79	9.64	9.45	10.12	9.99	10.50	10.46
3	9.73	9.62	9.46	10.01	9.97	10.49	10.45
4	9.73	9.61	9.45	10.01	9.96	10.49	10.45
5	9.73	9.62	9.44	10.06	9.95	10.44	10.44
6	9.73	9.62	9.45	10.06	9.95	10.44	10.42
平均值	9.75	9.62	9.45	10.05	9.97	10.48	10.45
绝对误差	-	-0.13	-0.30	-	-0.07	0.43	0.40
相对误差	-	-1.30%	-3.04%	-	-0.75%	4.28%	4.02%
标准偏差	-	0.01	0.01	-	0.02	0.03	0.02
相对标准偏差	-	0.11%	0.11%	-	0.21%	0.26%	0.16%
1	12.07	11.87	11.54	11.86	11.68	12.26	12.35

2	12.07	11.88	11.56	11.8	11.66	12.23	12.30
3	12.07	11.88	11.54	11.86	11.66	12.22	12.35
4	12.00	11.87	11.53	10.86	11.66	12.23	12.35
5	12.00	11.86	11.54	10.86	11.67	12.23	12.32
6	12.00	11.87	11.53	11.8	11.69	12.25	12.33
平均值	12.04	11.87	11.54	11.51	11.67	12.24	12.33
绝对误差	-	-0.16	-0.50	-	0.16	0.73	0.83
相对误差	-	-1.36%	-4.11%	-	1.42%	6.34%	7.18%
标准偏差	-	0.01	0.01	-	0.01	0.02	0.02
相对标准偏差	-	0.06%	0.09%	-	0.11%	0.12%	0.17%
1	18.03	18.14	17.96	17.73	17.51	18.32	18.26
2	18.03	18.15	17.95	17.63	17.51	18.29	18.26
3	18.03	18.12	17.98	17.63	17.47	18.20	18.18
4	18.03	18.13	17.96	17.43	17.34	18.15	18.15
5	18.03	18.15	17.95	17.43	17.32	18.12	18.12
6	18.03	18.14	17.96	17.43	17.29	18.09	18.08
平均值	18.03	18.14	17.96	17.55	17.41	18.20	18.18
绝对误差	-	0.11	-0.07	-	-0.14	0.65	0.63
相对误差	-	0.60%	-0.39%	-	-0.80%	3.69%	3.58%
标准偏差	-	0.01	0.01	-	0.10	0.09	0.07
相对标准偏差	-	0.06%	0.06%	-	0.58%	0.51%	0.41%
1	27.23	27.88	27.28	27.71	27.02	28.68	28.21
2	27.23	27.86	27.26	27.55	26.98	28.53	28.19
3	27.23	27.89	27.29	27.55	26.95	28.68	28.16
4	27.39	27.93	27.34	27.39	26.90	28.47	28.12
5	27.39	27.96	27.36	27.39	26.82	28.45	28.06
6	27.39	27.95	27.35	27.39	26.77	28.32	28.04
平均值	27.31	27.91	27.31	27.50	26.91	28.52	28.13
绝对误差	-	0.60	0.00	-	-0.59	1.03	0.63
相对误差	-	2.20%	0.01%	-	-2.15%	3.73%	2.30%
标准偏差	-	0.04	0.04	-	0.10	0.14	0.07
相对标准偏差	-	0.15%	0.15%	-	0.36%	0.49%	0.25%

表 9 110℃ 多点示值误差测试结果

单位: %Vol

序号	标准湿气值	A 厂家 1#	A 厂家 2#	标准湿气值	B 厂家 1#	B 厂家 2#	B 厂家 3#
1	3.96	3.72	3.56	3.93	3.99	4.17	3.58
2	3.96	3.71	3.55	3.95	3.98	4.18	3.56
3	3.96	3.72	3.55	3.98	4.01	4.18	3.53
4	3.93	3.71	3.56	3.91	4.00	4.17	3.54
5	3.93	3.72	3.55	3.86	3.98	4.11	3.51
6	3.93	3.71	3.55	3.91	3.96	4.06	3.48
平均值	3.95	3.72	3.55	3.92	3.99	4.15	3.53
绝对误差	-	-0.23	-0.39	-	0.06	0.22	-0.39
相对误差	-	-5.83%	-9.93%	-	1.61%	5.65%	-9.94%
标准偏差	-	0.01	0.01	-	0.02	0.05	0.04
相对标准 偏差	-	0.15%	0.15%	-	0.44%	1.19%	1.01%
1	7.92	7.52	7.35	7.83	7.81	7.89	8.03
2	7.92	7.53	7.33	7.92	7.82	7.90	8.03
3	7.92	7.52	7.34	7.87	7.81	7.89	8.00
4	7.92	7.52	7.33	7.78	7.83	7.85	7.96
5	7.92	7.53	7.33	7.78	7.82	7.84	7.96
6	7.92	7.51	7.34	7.87	7.84	7.84	7.92
平均值	7.92	7.52	7.34	7.84	7.82	7.87	7.98
绝对误差	-	-0.40	-0.58	-	-0.02	0.03	0.14
相对误差	-	-5.03%	-7.37%	-	-0.26%	0.34%	1.81%
标准偏差	-	0.01	0.01	-	0.01	0.03	0.04
相对标准 偏差	-	0.10%	0.11%	-	0.15%	0.35%	0.55%
1	10.13	9.89	9.46	10.18	10.13	10.23	10.22
2	10.13	9.88	9.47	10.12	10.16	10.23	10.24
3	10.13	9.92	9.46	10.06	10.14	10.24	10.24
4	10.07	9.91	9.45	10.01	10.14	10.24	10.25
5	10.07	9.88	9.46	10.12	10.12	10.24	10.27
6	10.07	9.87	9.45	10.18	10.14	10.27	10.29

平均值	10.10	9.89	9.46	10.11	10.14	10.24	10.25
绝对误差	-	-0.21	-0.64	-	0.03	0.13	0.14
相对误差	-	-2.06%	-6.35%	-	0.26%	1.29%	1.38%
标准偏差	-	0.02	0.01	-	0.01	0.01	0.02
相对标准偏差	-	0.20%	0.08%	-	0.13%	0.14%	0.24%
1	11.94	11.63	11.33	12.07	12.27	12.23	12.23
2	11.94	11.64	11.32	12	12.26	12.25	12.22
3	11.94	11.63	11.3	12	12.25	12.28	12.23
4	11.87	11.62	11.31	12	12.23	12.28	12.21
5	11.87	11.61	11.3	12	12.22	12.27	12.21
6	11.87	11.62	11.29	12	12.21	12.27	12.20
平均值	11.91	11.63	11.31	12.01	12.24	12.26	12.22
绝对误差	-	-0.28	-0.60	-	0.23	0.25	0.21
相对误差	-	-2.35%	-5.01%	-	1.90%	2.10%	1.71%
标准偏差	-	0.01	0.01	-	0.02	0.02	0.01
相对标准偏差	-	0.09%	0.13%	-	0.19%	0.16%	0.10%
1	17.93	18.37	17.51	17.93	18.75	18.37	18.65
2	17.93	18.35	17.5	17.93	18.76	18.36	18.62
3	17.93	18.36	17.49	17.93	18.71	18.33	18.65
4	17.73	18.38	17.5	17.93	18.82	18.36	18.68
5	17.73	18.35	17.48	17.83	18.76	18.37	18.64
6	17.73	18.31	17.46	17.93	18.79	18.37	18.64
平均值	17.83	18.35	17.49	17.91	18.77	18.36	18.65
绝对误差	-	0.52	-0.34	-	0.85	0.45	0.73
相对误差	-	2.94%	-1.91%	-	4.75%	2.49%	4.09%
标准偏差	-	0.02	0.02	-	0.04	0.02	0.02
相对标准偏差	-	0.13%	0.10%	-	0.20%	0.08%	0.11%
1	27.71	28.76	28.14	27.39	27.84	27.45	27.18
2	27.71	28.78	28.09	27.39	27.93	27.50	27.19
3	27.71	28.77	28.12	27.39	27.98	27.47	27.23
4	27.55	28.72	28.05	27.23	27.99	27.49	27.21
5	27.55	28.71	27.93	27.23	27.91	27.45	27.19

6	27.55	28.72	27.86	27.23	27.91	27.40	27.21
平均值	27.63	28.74	28.03	27.31	27.93	27.46	27.20
绝对误差	-	1.11	0.40	-	0.62	0.15	-0.11
相对误差	-	4.03%	1.45%	-	2.26%	0.55%	-0.40%
标准偏差	-	0.03	0.11	-	0.05	0.04	0.02
相对标准偏差	-	0.10%	0.40%	-	0.20%	0.13%	0.07%

表 10 140℃多点示值误差测试结果

单位：%Vol

序号	标准湿气值	A厂家 1#	A厂家 2#	标准湿气值	B厂家 1#	B厂家 2#	B厂家 3#
1	4.01	3.98	3.59	3.88	3.77	3.99	3.67
2	4.01	3.97	3.58	3.93	3.77	3.99	3.67
3	4.01	3.98	3.56	3.88	3.77	3.99	3.67
4	3.98	3.95	3.54	3.84	3.77	3.99	3.66
5	3.98	3.94	3.55	3.81	3.77	3.99	3.61
6	3.98	3.95	3.57	3.84	3.70	3.99	3.61
平均值	4.00	3.96	3.57	3.86	3.76	3.99	3.65
绝对误差	-	-0.03	-0.43	-	-0.11	0.13	-0.22
相对误差	-	-0.83%	10.76%	-	-2.72%	3.28%	-5.57%
标准偏差	-	0.02	0.02	-	0.03	0.00	0.03
相对标准偏差	-	0.43%	0.52%	-	0.76%	0.00%	0.82%
1	7.74	7.28	7.13	7.65	7.23	7.34	7.35
2	7.74	7.28	7.14	7.69	7.24	7.30	7.35
3	7.74	7.31	7.13	7.69	7.23	7.35	7.35
4	7.7	7.29	7.15	7.6	7.24	7.30	7.35
5	7.7	7.28	7.14	7.56	7.24	7.31	7.35
6	7.7	7.29	7.15	7.65	7.25	7.32	7.35
平均值	7.72	7.29	7.14	7.64	7.24	7.32	7.35
绝对误差	-	-0.43	-0.58	-	-0.40	-0.32	-0.29
相对误差	-	-5.59%	-7.49%	-	-5.26%	-4.19%	-3.80%
标准偏差	-	0.01	0.01	-	0.01	0.02	0.00
相对标准偏差	-	0.16%	0.12%	-	0.10%	0.29%	0.00%

1	10.01	9.33	9.62	9.89	9.63	9.64	9.71
2	10.01	9.32	9.58	9.84	9.57	9.65	9.71
3	10.01	9.33	9.63	9.84	9.58	9.64	9.65
4	10.07	9.33	9.62	9.89	9.58	9.65	9.65
5	10.07	9.32	9.63	9.89	9.64	9.65	9.71
6	10.07	9.33	9.61	9.89	9.65	9.64	9.71
平均值	10.04	9.33	9.62	9.87	9.61	9.65	9.69
绝对误差	-	-0.71	-0.43	-	-0.27	-0.23	-0.18
相对误差	-	-7.10%	-4.23%	-	-2.68%	-2.31%	-1.86%
标准偏差	-	0.01	0.02	-	0.04	0.01	0.03
相对标准偏差	-	0.06%	0.19%	-	0.37%	0.06%	0.32%
1	11.94	11.08	11.61	11.93	11.79	11.86	11.92
2	11.94	11.09	11.56	12	11.78	11.86	11.92
3	11.94	11.12	11.59	12	11.78	11.86	11.93
4	11.87	11.08	11.48	11.93	11.79	11.87	11.93
5	11.87	11.09	11.54	12	11.86	11.86	11.92
6	11.87	11.08	11.56	11.93	11.78	11.86	11.93
平均值	11.91	11.09	11.56	11.97	11.80	11.86	11.93
绝对误差	-	-0.82	-0.35	-	-0.17	-0.10	-0.04
相对误差	-	-6.85%	-2.93%	-	-1.41%	-0.86%	-0.33%
标准偏差	-	0.02	0.05	-	0.03	0.00	0.01
相对标准偏差	-	0.14%	0.39%	-	0.27%	0.03%	0.05%
1	17.24	16.28	17.65	17.73	17.84	17.88	17.90
2	17.24	16.29	17.66	17.63	17.86	17.88	17.90
3	17.24	16.28	17.67	17.63	17.86	17.83	17.84
4	17.24	16.3	17.65	17.63	17.83	17.83	17.84
5	17.24	16.28	17.67	17.63	17.83	17.84	17.83
6	17.24	16.29	17.65	17.63	17.76	17.84	17.88
平均值	17.24	16.29	17.66	17.65	17.83	17.85	17.87
绝对误差	-	-0.95	0.42	-	0.18	0.20	0.22
相对误差	-	-5.53%	2.43%	-	1.04%	1.15%	1.24%
标准偏差	-	0.01	0.01	-	0.04	0.02	0.03
相对标准	-	0.05%	0.06%	-	0.21%	0.13%	0.18%

偏差							
1	27.24	26.74	28.21	27.55	26.98	27.23	27.28
2	27.24	26.73	28.22	27.39	27.00	27.16	27.26
3	27.24	26.74	28.24	27.23	26.94	27.15	27.23
4	27.55	26.79	28.65	27.39	26.89	27.10	27.18
5	27.55	26.83	28.61	27.23	26.94	27.06	27.13
6	27.55	26.81	28.63	27.07	26.84	26.95	27.00
平均值	27.40	26.77	28.43	27.31	26.93	27.11	27.18
绝对误差	-	-0.62	1.03	-	-0.38	-0.20	-0.13
相对误差	-	-2.27%	3.77%	-	-1.39%	-0.74%	-0.48%
标准偏差	-	0.04	0.22	-	0.06	0.10	0.10
相对标准偏差	-	0.16%	0.79%	-	0.22%	0.36%	0.38%

试验中在 40℃低温条件下，标准湿气发生装置只能发出 4.00 %Vol 的标准湿气，不能发出高湿度标准湿气，因此只开展了 4.00 %Vol 标准湿气的测定试验。绝对误差范围为-0.16 ~0.32 %Vol。

在 80℃条件下，测定 4.00 %Vol 标准湿气时，绝对误差范围为-0.20 ~-0.23 %Vol；测定 8.00 %Vol 标准湿气时，相对误差范围为-7.62 ~3.27 %；测定 10.00 %Vol 标准湿气时，相对误差范围为-3.04~4.28%；测定 12.00 %Vol 标准湿气时，相对误差范围为-4.11~7.18%；测定 18.00 %Vol 标准湿气时，相对误差范围为-0.80~3.69%；测定 28.00 %Vol 标准湿气时，相对误差范围为-2.15~3.73%。

在 110℃条件下，测定 4.00 %Vol 标准湿气时，绝对误差范围为-0.39 ~-0.22 %Vol；测定 8.00 %Vol 标准湿气时，相对误差范围为-7.37~1.81%；测定 10.00 %Vol 标准湿气时，相对误差范围为-6.35~1.38%；测定 12.00 %Vol 标准湿气时，相对误差范围为-5.01~2.10%；测定 18.00 %Vol 标准湿气时，相对误差范围为-1.91~4.75%；测定 28.00 %Vol 标准湿气时，相对误差范围为-0.40~4.03%。

在 140℃条件下，测定 4.00 %Vol 标准湿气时，绝对误差范围为-0.43~0.13 %Vol；测定 8.00 %Vol 标准湿气时，相对误差范围为-7.49~-3.80%；测定 10.00 %Vol 标准湿气时，相对误差范围为-7.10~-1.86%；测定 12.00 %Vol 标准湿气时，相对误差范围为-6.85~-0.33%；测定 18.00 %Vol 标

准湿气时，相对误差范围为-5.53~2.43%；测定 28.00 %Vol 标准湿气时，相对误差范围为-2.27~3.77%。

《固定污染源监测质量保证与质量控制技术规范》（HJ/T 373-2007）规定：定电位电解法测定仪应在每次使用前校准，采用仪器量程 20%~30%、50%~60%、80%~90%处浓度或与待测物相近浓度的标准其他校准，若仪器示值偏差不高于±5%，测定仪可以使用。《烟气分析仪检定规程》（JJG 968-2002）的“计量性能要求”中规定：烟气分析仪示值误差不超过±5%。《固定污染源烟气（SO₂、NO_x、颗粒物）排放连续监测技术规范》（HJ 75-2017）中规定比对监测烟气湿度>5.0%时，相对误差不超过±25%；烟气湿度≤5.0%时，绝对误差不超过±1.5%。

本课题试验结果显示，在各温度条件下，测定 4.00 %Vol 标准湿气时，绝对误差范围为-0.43~0.31 %Vol；测定 8.00 %Vol、10.00 %Vol、12.00 %Vol、18.00 %Vol 和 28.00 %Vol 标准湿气时，相对误差范围为-7.62~7.18%。可见现有阻容法仪器难以达到 HJ/T 373-2007 和 JJG 968-2002 规定的示值误差不超过±5%的要求。如示值误差参照 HJ75 的要求，则过于宽松。因此为有效开展质量控制，规定了“校准量程≤5.00 %Vol 时，绝对误差不超过±0.75 %Vol；校准量程>5.00 %Vol 时，相对误差不超过±15%”。

➤ 响应时间

待测仪器运行稳定后，通入标准湿气，读数稳定后记录 C₀。通入零气，待零点读数稳定后，再次通入标准湿气，同时用秒表开始计时；当仪器读数上升至 90% C₀ 时停止计时，记录所用时间即为仪器的响应时间，重复操作 3 次。

表 11 响应时间测试结果

仪器	标准湿气 (%Vol)	测定结果	
		t90 (秒)	平均值 (秒)
A 厂家	19.97	41	41
	19.97	40	
	19.97	42	
B 厂家 1#	22.11	28	28
	22.11	27	
	22.11	29	
B 厂家 2#	25.14	35	36
	25.14	36	

	25.14	37	
--	-------	----	--

《环境空气和废气 挥发性有机物组分 便携式傅里叶红外监测仪技术要求及检测方法》(HJ 1011-2018)中规定：响应时间： ≤ 120 秒。试验结果显示，阻容法仪器的响应时间均小于60秒，考虑到便携式仪器的快速响应需求，规定“响应时间： ≤ 60 秒”。

5.9. 采样位置和采样点

按照 GB/T 16157、HJ/T 397、HJ/T 373、HJ 75 和 HJ 836 等标准规定，确定采样位置和采样点。。

说明：

GB/T 16157、HJ/T 397、HJ/T 373、HJ 75 和 HJ 836 等标准规定了固定污染源废气采样要求，因此湿度测定参照上述标准确定采样位置和采样点。

5.10. 分析步骤

样品测定：按仪器使用说明书，将探头放置在烟道规定位置，堵严采样孔，使之不漏气。待仪器读数稳定后即可记录读数，每分钟保存一个均值，连续取样5分钟~15分钟测定数据的平均值可作为一次测定值。

仪器关机：测定完成后，将仪器探头取出，置于环境空气中，清洗仪器，当仪器读数恢复至环境湿度并且稳定后，确认清洗完成。关闭电源，断开仪器各部分连接，结束测定。

说明：

测定时要将采样孔堵严；若漏气，特别是采样孔为负压时，外界空气会吸入排气筒，影响测定并引起管道流场紊乱。

阻容法传感器的响应时间通常不大于60秒，仪器工作性能可以稳定。按照分钟保存测定数据，作为一次测定值，是为了数据更加准确、可靠、具有代表性。在一次测定过程中，不合理的分钟数据应剔除舍弃。因此为了便于一次测定值的结果复核，有必要规定按分钟保存测定数据。取5分钟~15分钟平均值作为一次测定值。

阻容法仪器长时间连续测定高湿度环境，可能发生漂移。使用后直接断电，残留的水蒸气也可能冷凝损坏传感器。为更好地保护传感器，延长仪器使用寿命，提高数据准确性，规定“测定完成后，将仪器探头取出，置于环境空

气中，清洗仪器，当仪器读数恢复至环境湿度并且稳定后，确认清洗完成。关闭电源，断开仪器各部分连接，结束测定”。

5.11. 结果计算与表示

湿度测定结果保留两位小数。

说明：

为规范结果表示，本标准规定结果保留两位小数。

当结果低于方法检出限时应按照环境监测报告制度有关规定执行，本标准不另行规定。

5.12. 精密度和准确度

通过组织 6 家验证实验室开展方法验证工作，得到了本方法的精密度和准确度。

5.12.1 精密度

(1) 6 家验证实验室对湿度为 4.00%Vol、18.00%Vol 和 28.00%Vol 的标准湿气进行测定：

实验室内相对标准偏差分别为：0.13%~0.61%、0.06%~0.67%和 0.04%~0.50%；

实验室间相对标准偏差分别为：4.08%、2.34%和 2.08%；

重复性限分别为：0.04%Vol、0.17%Vol 和 0.18%Vol；

再现性限分别为：0.47%Vol、1.18%Vol 和 1.61%Vol。

(2) 6 家验证实验室对工艺废气、电厂废气、生活垃圾焚烧厂废气湿度进行测定。工艺废气湿度为 2.82%Vol~3.04%Vol，平均值为 2.92%Vol；电厂废气湿度为 13.29%Vol~14.52%Vol，平均值为 13.85%Vol；垃圾焚烧厂废气湿度为 19.66%Vol~21.90%Vol，平均值为 20.85%Vol。

实验室内相对标准偏差分别为：0.63%~1.27%、1.01%~2.41%和 2.04%~2.87%；

实验室间相对标准偏差分别为：2.09%、1.45%和 1.60%；

重复性限分别为：0.08%Vol、0.69%Vol 和 1.48%Vol；

再现性限分别为：0.19%Vol、0.84%Vol 和 1.64%Vol。

5.12.2 准确度

6家验证实验室对湿度为4.00%Vol、18.00%Vol和28.00%Vol的标准湿气进行测定。

相对误差分别为：-4.95%~5.02%、-0.39%~2.91%和-1.47%~3.23%；

相对误差最终值为：0.34%±8.52%、0.86%±2.72%和0.66%±3.50%。

5.13. 质量保证和质量控制

5.13.1 每个月至少进行一次零点核查，仪器读数应不大于0.20%Vol。

说明：

为保证仪器的准确性，应定期进行零点核查。可按照仪器说明书要求用符合要求的纯氮气或除水后空气作为零气通入仪器。

5.13.2 每年至少开展一次仪器使用期间的核查工作，核查内容至少包括多点示值误差（<20% C.S.、40%~60% C.S.、80%~100% C.S.）和响应时间，核查频次依据仪器使用环境和频率、历次检定或校准结果等情况确定。核查结果应符合7.2的要求。

说明：

阻容法仪器在较长时间使用后，由于废气工况复杂等原因，仪器的量程有可能发生漂移，影响测定结果的准确性，为了解仪器状态，维护仪器设备在两次校准期间校准状态的可信度，减少由于仪器稳定性变化造成的结果偏差，有必要在两次周期检定（校准）之间进行期间核查。核查指标为仪器性能要求的示值误差和响应时间。多点示值误差的湿度覆盖了常见固定污染源的废气湿度范围，可以有效反映仪器的性能状况。

5.13.2 如零点核查或期间核查结果不符合要求，应及时维护或维修仪器。在维修或更换重要零部件后，应使用标准湿气对仪器进行性能指标检查，并满足7.2的要求。

说明：

如仪器核查结果不符合要求，需由专业人员及时维护或维修，待通过性能指标检查确认仪器符合要求，方可使用。

5.14. 注意事项

5.14.1 进入仪器的废气温度应不高于180℃。

说明：

保证仪器正常工作和运行的需要。

5.14.2 测定前应清洁探头过滤装置，确保采样管路畅通，检查仪器加热是否正常工作。

说明：

防止滤尘阻塞气路或管线达不到工作温度，影响测定结果的准确性。

5.14.3 测定时仪器应良好接地，避免对仪器和人员造成伤害。

说明：

防止电源外部导电对仪器和监测人员的伤害。

5.15. 附录

附录 A：期间核查记录

说明：

为获得准确、可靠的监测结果，本标准中规定了期间核查要求，以资料性附录 A 的形式明确了核查方法要求及结果记录，便于标准的操作和使用。

6 方法比较

由于现行标准体系中尚无对不同原理的仪器进行误差比较的方法和评价依据，在标准编制过程中，参考 HJ 75 对手工和在线监测设备比对监测的误差范围要求，具体如下：

(1) 当废气湿度 $\leq 5.0\% \text{Vol}$ 时，若两种比较方法测试结果绝对误差（绝对值） $\leq 1.5\% \text{Vol}$ 的数据量 $\geq 90\%$ ，认为现场比较测试结果一致，测定结果无显著差异；

(2) 当废气湿度 $> 5.0\% \text{Vol}$ 时，若两种比较方法测试结果相对误差（绝对值） $\leq 25\%$ 的数据量 $\geq 90\%$ ，认为现场比较测试结果一致，测定结果无显著差异；

(3) 不符合以上测试结果评判标准的，则认为两种比较方法测试结果不一致。

根据国内外湿度测定方法的调研结果，重量法是公认的经典方法，适用于各类固定污染源废气的湿度测定，因此编制组在开展标准验证的过程中，采用重量法作为参比方法。在某工艺除尘废气和某电厂脱硫废气排放口开展湿度测

试比较。每组连续监测 20min，每个点位测得 7 组数据进行比较，结果如下表所示。

表 12 与重量法比较结果

监测点位	阻容法湿度 (%Vol)	重量法湿度 (%Vol)	组数	评价标准	比较结果	合格率
某工艺排放口	2.90~2.96	3.12~3.39	7	绝对误差 (%)	-0.46~-0.16	100%
某电厂排放口	13.25~14.07	14.83~15.58	7	相对误差 (%)	-5.32~-13.94	100%

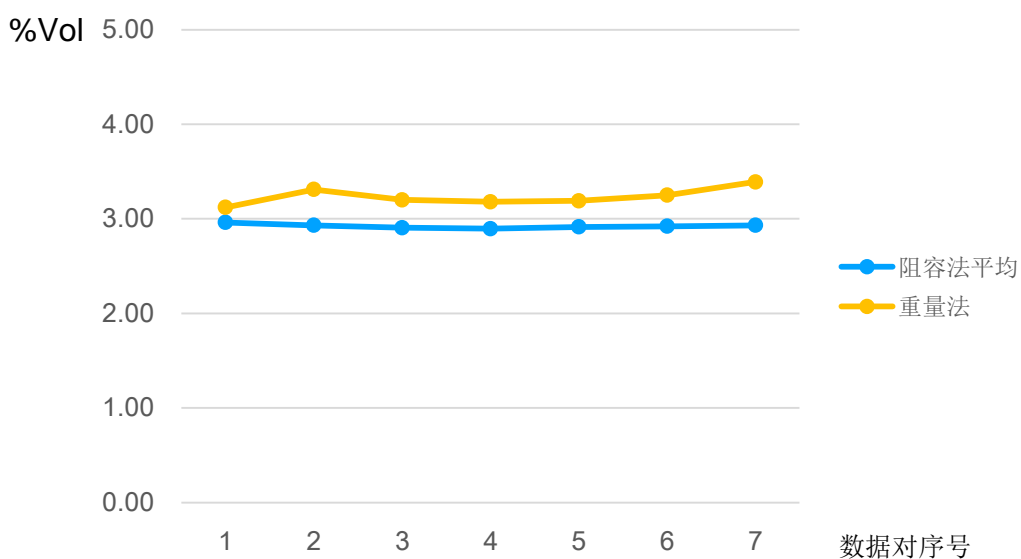


图 4 工艺废气排放口湿度比较

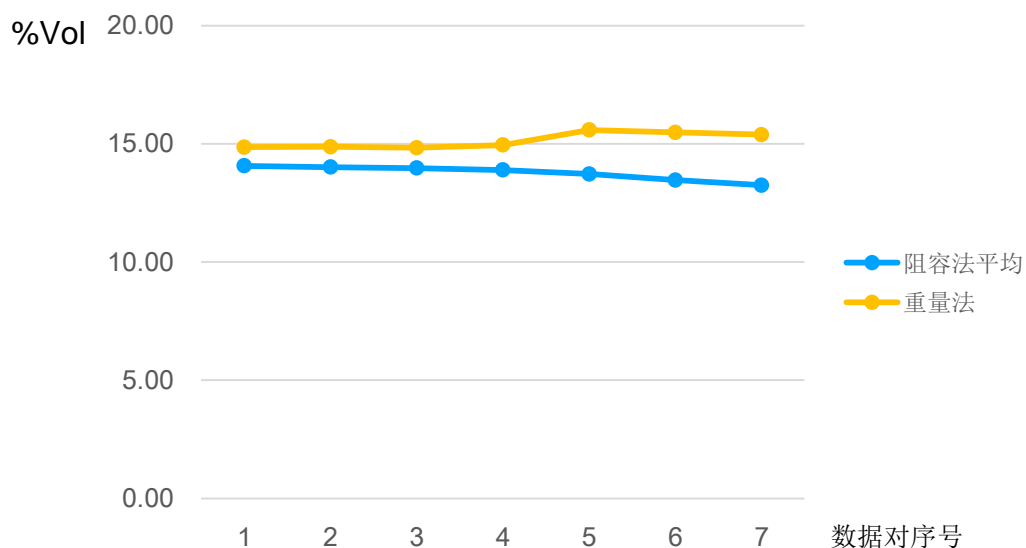


图 5 电厂脱硫废气排放口湿度比较

比较结果显示，对于两个污染源现场，阻容法和重量法的湿度测定结果均无显著差异。

7 方法验证

7.1. 验证方案的制定工作

编制组按照开题论证会专家提出的意见和建议，依据 HJ 168 的要求，编制完成验证实验方案，并组织验证实验室开展验证实验。

7.2. 验证方案内容

7.2.1 实验内容

- (1) 检出限及测定下限
- (2) 精密度
- (3) 准确度

7.2.2 试剂和材料

- (1) 标准样品

标准湿气：湿度为 4.00 %Vol、18.00 %Vol、28.00 %Vol。

- (2) 零气：纯度 $\geq 99.999\%$ 的氮气。
- (3) 实际样品

选择对某工艺废气（低湿度）、某电厂废气（中湿度）和某垃圾焚烧废气（高湿度）进行测定。

7.2.3 验证实验室及人员要求

选取 6 家验证实验室分别为：嘉定区环境监测站、金山区环境监测站、闵行区环境监测站、宝山区环境监测站、上海纺织节能环保中心和上海市化工环境保护监测站。参加方法验证的实验人员均符合 HJ 373 规定。

7.2.4 检出限及测定下限的验证实验方案

按照 HJ 168 的有关规定，各验证实验室按本方法操作步骤及流程对氮气标准气体进行 21 次平行测定，计算平均值、标准偏差、相对标准偏差、测定下限及检出限等各项参数。

最终的方法检出限为各验证实验室所得数据的最高值。

7.2.5 精密度的验证实验方案

按照 HJ 168 的有关规定，对标准湿气和实际样品进行实验室内和实验室间的方法精密度测定。

标准气体测定：各验证实验室对低、中、高 3 个不同湿度的标准湿气（4.00 %Vol、18.00 %Vol、28.00 %Vol）进行测定，按全程序每个样品平行测定 6 次，分别计算不同样品的平均值、标准偏差、相对标准偏差等各项参数。

实际样品测定：各验证实验室对低、中、高 3 个不同湿度实际样品同步进行测定，按全程序每个样品平行测定 6 次，分别计算不同样品的平均值、标准偏差、相对标准偏差等各项参数。

编制组对各验证实验室的数据进行汇总统计分析，计算实验室间相对标准偏差、重复性限 r 和再现性限 R。

7.2.6 准确度的验证实验方案

按照 HJ 168 的有关规定，各验证实验室对低、中、高 3 个不同湿度的标准湿气（4.00 %Vol、18.00 %Vol、28.00 %Vol）进行测定，按全程序每个样品平行测定 6 次，分别计算不同浓度水平标准气体的平均值、标准偏差、相对误差等各项参数。

7.3. 方法验证过程

7.3.1 仪器使用情况

表 13 仪器情况登记表

验证单位	仪器型号	仪器编号	性能状况	实验室编号
嘉定区环境监测站	HMS545P	GAP00232018070030	正常	实验室 1
金山区环境监测站	1062A	3U01055008	正常	实验室 2
闵行区环境监测站	1062A	3U01058660	正常	实验室 3
宝山区环境监测站	HMS545P	GAP00232018071012	正常	实验室 4
上海纺织节能环保中心	1062A	3U01002800	正常	实验室 5
上海市化工环境保护监测站	HMS545P	GAP00232018070028	正常	实验室 6

7.3.2 标准气体使用情况

本次方法验证实验采用的标准湿气由南京埃森环境技术股份有限公司生产的经检定的标准湿气发生装置发出，发湿范围：0~40 %Vol。

零气为南京红健特种气体有限公司生产的氮气标准气体，纯度≥99.999%。

7.3.3 方法检出限和测定下限实验

按照实验方案，6家验证实验室按照 HJ 168 的有关规定，对氮气标准气体进行了 21 次平行测定。

湿度检出限为 0.01%Vol ~0.07 %Vol；测定下限为 0.04%Vol ~0.28 %Vol。

本标准规定湿度的检出限为 0.20 %Vol，测定下限为 0.80 %Vol。

7.3.4 方法精密度实验

(1) 标准气体测定

6家验证实验室对湿度为 4.00%Vol、18.00%Vol 和 28.00%Vol 的标准湿气进行测定：

实验室内相对标准偏差分别为：0.13%~0.61%、0.06%~0.67%和 0.04%~0.50%；

实验室间相对标准偏差分别为：4.08%、2.34%和 2.08%；

重复性限分别为：0.04%Vol、0.17%Vol 和 0.18%Vol；

再现性限分别为：0.47%Vol、1.18%Vol 和 1.61%Vol。

(2) 实际样品测定

6家验证实验室对工艺废气、电厂废气、生活垃圾焚烧厂废气湿度进行测定。工艺废气湿度为 2.82%Vol~3.04%Vol，平均值为 2.92%Vol；电厂废气湿度为 13.29%Vol~14.52%Vol，平均值为 13.85%Vol；垃圾焚烧厂废气湿度为 19.66%Vol~21.90%Vol，平均值为 20.85%Vol。

实验室内相对标准偏差分别为：0.63%~1.27%、1.01%~2.41%和 2.04%~2.87%；

实验室间相对标准偏差分别为：2.09%、1.45%和 1.60%；

重复性限分别为：0.08%Vol、0.69%Vol 和 1.48%Vol；

再现性限分别为：0.19%Vol、0.84%Vol 和 1.64%Vol。

6.3.5 方法准确度实验

6家验证实验室对湿度为 4.00%Vol、18.00%Vol 和 28.00%Vol 的标准湿气进行测定。

相对误差分别为：-4.95%~5.02%、-0.39%~2.91%和-1.47%~3.23%；

相对误差最终值为：0.34%±8.52%、0.86%±2.72%和 0.66%±3.50%。

7.4.方法验证报告

详见附件。

8 与开题报告的差异说明

本标准的主要技术内容与开题报告中的计划内容保持一致，无差异。

9 标准实施建议

(1) 使用本标准时，需要按规定做好质控措施。

(2) 随着阻容法技术的发展，方法检出限和适用范围等可能改进，建议及时进行修订。

(3) 目前成熟的标准湿气发生装置还较少，为保障标准的顺利实施，建议仪器厂商尽快推出更多技术成熟、价格合理的标准湿气发生装置。

(4) 建议尽快制定阻容法湿度测定仪器的计量校准规程。

10 参考文献

- [1] GB/T16157-1996,固定污染源排期中颗粒物测定与气态污染物采样方法[S].
- [2] HJ/397-2007,固定源废气检测技术规范[S].
- [3] JJF 1012-2007,湿度与水分计量名词术语及定义 [S].
- [4] GB/T11605-2005. 湿度测定方法[S].
- [5] US Environment Protection Agency.EPA Method 4:Determination of moisture content in stack gases[S].Washington DC:US EPA Press,1994.
- [6] US Environment Protection Agency.EMC ALT-008: Alternative method moisture midget impingers[S]. Washington DC:US EPA Press,1994.
- [7] Beuth Verla GrnbH.DIN EN 14790:2006-04(E)Stationary source emissions-determination of the water vapour in ducts[S].Berlin:DIN-Normen,2006.
- [8] ASTM.E337-02(2007)Standard test method for measuring humidity with a psychrometer(the Measurement of Wet-and Dry-Bulb

Temperatures)[S].West Conshohocken,PA,United States:ASTM international,2007.

[9] ASTM.Oregon Method 4(wet bulb/dry bulb)“Determination of moisture content of stack gases”Alternate method)[S].West Conshohocken,PA,United States:ASTM international,1994.

[10] 国家环境保护总局.《空气废气监测分析方法》编委会.空气和废气监测分析方法[M].4版增补版.北京:中国环境科学出版社,2003:349—350.

[11] 易江,梁永,李虹杰.固定源排放废气连续自动监测[J].中国标准出版社,2010.

[12] 王中伟,孙君健,赵立春等.湿法脱硫对电厂钢筋混凝土烟囱的腐蚀及防腐方法研究[J].发电技术,2010,39(6):546~553.

[13] 曾正强,朱晓放,张仕兵等.浅析固定污染源采集颗粒物湿度对标杆体积的影响[J].节能环保,2018,5:36.

[14] 许震,冯子健,杨海峰等.不同烟气湿度测定方法的适用性分析[J].发电技术,2018,10(3):30~32.

[15] 周灵辉,杨凯.不同烟气湿度测定方法比较与分析[J].环境监测管理与技术,2012,2:66-69.

[16] 李英干,范金鹏.湿度测定[M].北京.气象出版社,1990:201-278.

附一

方法验证报告

方法名称：固定污染源废气湿度的测定 阻容法

项目单位：上海市环境监测中心、南京埃森环境技术股份有限公司、青岛崂应环境科技有限公司、宝武装备智能科技有限公司、中检集团理化检测有限公司和华东理工大学

验证单位：上海市嘉定区环境监测站、上海市金山区环境监测站、上海市闵行区环境监测站、上海市宝山区环境监测站、上海纺织节能环保中心和上海市化工环境保护监测站

项目负责人及职称：宋钊 高级工程师

通讯地址：上海市三江路 55 号 电话：021-24011718

报告编写人及职称：陆立群 工程师

报告日期：2020 年 6 月 1 日

1 实验室基本情况

1.1 实验室及参与人员情况

参加验证人员情况见下表。

表 1 参加验证人员情况

姓名	性别	年龄	职称	专业	相关工作年限
秦凯杰	男	26	助工	环境工程	3
邵家杰	男	30	助工	环境工程	8
吴海	男	37	高工	环境工程	16
茅卫德	男	50	助工	环境监测	32
朱慧焯	男	30	工程师	化学工程	11
叶宸	男	29	工程师	环境工程	8

1.2 仪器使用情况

表 2 仪器情况登记表

验证单位	仪器型号	仪器编号	性能状况	实验室编号
嘉定区环境监测站	HMS545P	GAP00232018070030	正常	实验室 1
金山区环境监测站	1062A	3U01055008	正常	实验室 2
闵行区环境监测站	1062A	3U01058660	正常	实验室 3
宝山区环境监测站	HMS545P	GAP00232018071012	正常	实验室 4
上海纺织节能环保中心	1062A	3U01002800	正常	实验室 5
上海市化工环境保护监测站	HMS545P	GAP00232018070028	正常	实验室 6

1.3 标准气体使用情况

本次方法验证实验采用的标准湿气由南京埃森环境技术股份有限公司生产的经检定的标准湿气发生装置发出，发湿范围：0~40 %Vol。

零气为南京红健特种气体有限公司生产的氮气标准气体，纯度 $\geq 99.999\%$ 。

2 方法检出限、测定下限验证实验

按照实验方案，6 家验证实验室按照 HJ 168 的有关规定，对纯度 $\geq 99.999\%$ 的氮气标准气体进行了 21 次平行测定。

表 3 验证实验室检出限结果统计

单位：%Vol

测定次数		99.999%氮气标准气体					
		实验室 1	实验室 2	实验室 3	实验室 4	实验室 5	实验室 6
湿度测定值	1	0.18	0.30	0.26	0.11	0.10	0.21
	2	0.18	0.26	0.26	0.10	0.11	0.20
	3	0.19	0.26	0.26	0.11	0.11	0.20
	4	0.17	0.25	0.26	0.12	0.12	0.19
	5	0.17	0.23	0.26	0.11	0.11	0.19
	6	0.18	0.23	0.26	0.12	0.11	0.21
	7	0.19	0.23	0.26	0.12	0.12	0.21
	8	0.18	0.23	0.26	0.13	0.11	0.20
	9	0.18	0.22	0.26	0.13	0.12	0.19
	10	0.19	0.21	0.26	0.12	0.12	0.20
	11	0.18	0.21	0.26	0.11	0.11	0.20
	12	0.19	0.20	0.26	0.11	0.11	0.21
	13	0.19	0.20	0.26	0.11	0.12	0.21
	14	0.20	0.20	0.25	0.11	0.11	0.22
	15	0.18	0.20	0.25	0.12	0.10	0.21
	16	0.19	0.20	0.25	0.12	0.11	0.21
	17	0.18	0.20	0.25	0.11	0.12	0.20
	18	0.18	0.21	0.25	0.10	0.13	0.20
	19	0.18	0.20	0.25	0.11	0.11	0.21
	20	0.19	0.20	0.25	0.12	0.11	0.21
	21	0.18	0.19	0.25	0.11	0.11	0.21
平均值		0.18	0.22	0.26	0.11	0.11	0.20
标准偏差		0.01	0.03	0.00	0.01	0.01	0.01
检出限		0.02	0.07	0.01	0.02	0.02	0.02
测定下限		0.08	0.28	0.04	0.08	0.08	0.08

表 4 方法检出限、测定下限汇总表

单位：%Vol

实验室号	检出限	测定下限
1	0.02	0.08
2	0.07	0.28

3	0.01	0.04
4	0.02	0.08
5	0.02	0.08
6	0.02	0.08

结论：湿度检出限为 0.01%Vol ~0.07 %Vol，测定下限为 0.04%Vol
~0.28 %Vol。本标准规定的湿度检出限为 0.20 %Vol，测定下限为
0.80 %Vol。

3 方法精密度验证实验

3.1 标准样品测定

分别选择湿度为 4.00 %Vol、18.00 %Vol、28.00 %Vol 的标准湿气进行测定。根据 HJ 168-2010 规定的统计方法对验证数据进行统计。

表 5 湿度 4.00 %Vol 精密度测定结果

单位：%Vol

实验室号	1 次	2 次	3 次	4 次	5 次	6 次	平均值	标准偏差	相对标准偏差
1	4.14	4.13	4.14	4.13	4.13	4.14	4.14	0.01	0.13%
2	4.12	4.12	4.18	4.18	4.17	4.14	4.15	0.03	0.61%
3	4.29	4.30	4.31	4.32	4.33	4.34	4.31	0.02	0.47%
4	4.12	4.11	4.12	4.10	4.09	4.10	4.11	0.01	0.29%
5	3.92	3.93	3.94	3.93	3.94	3.95	3.94	0.01	0.27%
6	3.85	3.84	3.86	3.85	3.84	3.84	3.85	0.01	0.21%

实验室内相对标准偏差：0.13%~0.61%；实验室间相对标准偏差：
4.08%。

重复性限为 0.04%Vol；再现性限为 0.47%%Vol。

表 6 湿度 18.00 %Vol 精密度测定结果

单位：%Vol

实验室号	1 次	2 次	3 次	4 次	5 次	6 次	平均值	标准偏差	相对标准偏差
1	17.17	17.16	17.18	17.20	17.19	17.17	17.18	0.01	0.09%
2	18.32	18.29	18.20	18.15	18.12	18.09	18.19	0.09	0.50%
3	17.88	17.87	17.87	17.86	17.86	17.84	17.86	0.01	0.08%
4	18.14	18.15	18.12	18.13	18.15	18.14	18.14	0.01	0.06%
5	17.27	17.33	17.21	17.45	17.47	17.49	17.37	0.12	0.67%

6	17.96	17.95	17.98	17.96	17.95	17.96	17.96	0.01	0.06%
---	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	-------

实验室内相对标准偏差：0.06%~0.67%；实验室间相对标准偏差：

2.34%。

重复性限为 0.17%Vol；再现性限为 1.18%Vol。

表 7 湿度 28.00 %Vol 精密度测定结果

单位：%Vol

实验室号	1次	2次	3次	4次	5次	6次	平均值	标准偏差	相对标准偏差
1	27.05	27.07	27.06	27.08	27.07	27.06	27.07	0.01	0.04%
2	28.68	28.53	28.68	28.47	28.45	28.32	28.52	0.14	0.50%
3	27.45	27.45	27.44	27.42	27.40	27.39	27.43	0.03	0.10%
4	27.88	27.86	27.89	27.93	27.96	27.95	27.91	0.04	0.15%
5	27.06	27.05	27.04	27.06	27.02	27.03	27.04	0.02	0.06%
6	27.28	27.26	27.29	27.34	27.36	27.35	27.31	0.04	0.15%

实验室内相对标准偏差：0.04%~0.50%；实验室间相对标准偏差：

2.08%。

重复性限为 0.18%Vol；再现性限为 1.61%Vol。

3.2 实际样品测定

6 家验证实验室对工艺废气、电厂废气和垃圾焚烧废气进行测定。根据 HJ 168-2010 规定的统计方法对验证数据进行统计。

表 8 工艺废气湿度精密度测定结果

单位：%Vol

实验室号	1次	2次	3次	4次	5次	6次	平均值	标准偏差	相对标准偏差
1	2.98	2.94	2.95	2.93	2.94	2.93	2.94	0.02	0.63%
2	3.04	3.00	2.95	2.93	2.99	2.98	2.98	0.04	1.27%
3	3.04	3.00	2.95	2.94	2.99	3.01	2.99	0.04	1.22%
4	2.89	2.88	2.86	2.85	2.83	2.82	2.86	0.03	0.88%
5	2.96	2.93	2.87	2.88	2.91	2.90	2.91	0.03	1.15%
6	2.86	2.84	2.85	2.84	2.83	2.89	2.85	0.02	0.76%

湿度范围为 2.82 %Vol ~3.04 %Vol，实验室内相对标准偏差：0.63%~

1.27%；实验室间相对标准偏差：2.09%。

重复性限为 0.08%Vol；再现性限为 0.19%Vol。

表 9 电厂废气湿度精密度测定结果

单位：%Vol

实验室号	1次	2次	3次	4次	5次	6次	平均值	标准偏差	相对标准偏差
1	13.81	13.82	13.82	13.82	13.73	13.45	13.74	0.14	1.05%
2	14.52	14.45	14.36	14.25	14.01	13.74	14.22	0.30	2.09%
3	14.32	14.18	14.12	13.95	13.67	13.43	13.94	0.34	2.41%
4	13.76	13.76	13.76	13.76	13.70	13.41	13.69	0.14	1.01%
5	14.00	13.94	13.89	13.80	13.51	13.29	13.74	0.28	2.04%
6	14.01	13.92	13.88	13.76	13.72	13.45	13.79	0.20	1.44%

湿度范围为 13.29 %Vol ~14.52 %Vol，实验室内相对标准偏差：1.01%~

2.41%；实验室间相对标准偏差：1.45%。

重复性限为 0.69%Vol；再现性限为 0.84%Vol。

表 10 垃圾焚烧厂废气湿度精密度测定结果

单位：%Vol

实验室号	1次	2次	3次	4次	5次	6次	平均值	标准偏差	相对标准偏差
1	21.64	20.54	21.04	20.57	20.47	20.16	20.74	0.52	2.53%
2	21.67	21.76	21.32	21.12	20.58	21.10	21.26	0.43	2.04%
3	21.64	20.54	21.04	20.57	20.47	20.16	20.74	0.52	2.53%
4	20.40	19.66	20.40	19.82	20.66	21.28	20.37	0.59	2.87%
5	21.90	21.65	21.21	20.81	21.11	20.55	21.20	0.51	2.39%
6	20.54	20.53	19.95	21.11	21.63	20.86	20.77	0.57	2.76%

湿度范围为 19.66 %Vol ~21.90 %Vol，实验室内相对标准偏差：2.04%~

2.87%；实验室间相对标准偏差：1.60%。

重复性限为 1.48%Vol；再现性限为 1.64%Vol。

4 方法准确度验证实验

表 11 湿度 4.00 %Vol 准确度测定结果

单位：%Vol

实验室号	1次	2次	3次	4次	5次	6次	平均值	相对误差%	相对误差均值	相对标准偏差
1	4.14	4.13	4.14	4.13	4.13	4.14	4.14	2.61%	0.34%	4.26%
2	4.12	4.12	4.18	4.18	4.17	4.14	4.15	3.29%		

3	4.29	4.30	4.31	4.32	4.33	4.34	4.31	4.69%		
4	4.12	4.11	4.12	4.10	4.09	4.10	4.11	1.40%		
5	3.92	3.93	3.94	3.93	3.94	3.95	3.94	-4.95%		
6	3.85	3.84	3.86	3.85	3.84	3.84	3.85	-5.02%		

相对误差偏差：-4.95%~5.02%；相对误差最终值：0.34%±8.52%。

表 12 湿度 18.00 %Vol 准确度测定结果

单位：%Vol

实验室号	1次	2次	3次	4次	5次	6次	平均值	相对误差%	相对误差均值	相对标准标准偏差
1	17.17	17.16	17.18	17.20	17.19	17.17	17.18	-0.07%	0.86%	1.36%
2	18.32	18.29	18.20	18.15	18.12	18.09	18.19	2.91%		
3	17.88	17.87	17.87	17.86	17.86	17.84	17.86	2.19%		
4	18.14	18.15	18.12	18.13	18.15	18.14	18.14	0.60%		
5	17.27	17.33	17.21	17.45	17.47	17.49	17.37	-0.06%		
6	17.96	17.95	17.98	17.96	17.95	17.96	17.96	-0.39%		

相对误差偏差：-0.39%~2.91%；相对误差最终值：0.86%±2.72%。

表 14 湿度 28.00 %Vol 准确度测定结果

单位：%Vol

实验室号	1次	2次	3次	4次	5次	6次	平均值	相对误差%	相对误差均值	相对标准标准偏差
1	27.05	27.07	27.06	27.08	27.07	27.06	27.07	-1.47%	0.66%	1.75%
2	28.68	28.53	28.68	28.47	28.45	28.32	28.52	3.23%		
3	27.45	27.45	27.44	27.42	27.40	27.39	27.43	0.39%		
4	27.88	27.86	27.89	27.93	27.96	27.95	27.91	2.20%		
5	27.06	27.05	27.04	27.06	27.02	27.03	27.04	-0.43%		
6	27.28	27.26	27.29	27.34	27.36	27.35	27.31	0.01%		

相对误差偏差：-1.47%~3.23%；相对误差最终值：0.66%±3.50%。

5 方法验证结论

通过验证实验，得出如下结论：

(1) 方法检出限和检出下限

按照实验方案，6家验证实验室按照 HJ 168 的有关规定，对纯度 99.999% 的氮气标准气体进行了 21 次平行测定。

湿度检出限为 0.01~0.07 %Vol；测定下限为 0.04~0.28 %Vol。

本标准规定湿度的检出限为 0.20 %Vol，测定下限为 0.80 %Vol。

(2) 方法精密度

1) 标准样品测定

6 家验证实验室对湿度为 4.00%Vol、18.00%Vol 和 28.00%Vol 的标准湿气进行测定：

实验室内相对标准偏差分别为：0.13%~0.61%、0.06%~0.67%和 0.04%~0.50%；

实验室间相对标准偏差分别为：4.08%、2.34%和 2.08%；

重复性限分别为：0.04%Vol、0.17%Vol 和 0.18%Vol；

再现性限分别为：0.47%Vol、1.18%Vol 和 1.61%Vol。

2) 实际样品测定

6 家验证实验室对工艺废气、电厂废气、生活垃圾焚烧厂废气湿度进行测定。工艺废气湿度为 2.82%Vol~3.04%Vol，平均值为 2.92%Vol；电厂废气湿度为 13.29%Vol~14.52%Vol，平均值为 13.85%Vol；垃圾焚烧厂废气湿度为 19.66%Vol~21.90%Vol，平均值为 20.85%Vol。

实验室内相对标准偏差分别为：0.63%~1.27%、1.01%~2.41%和 2.04%~2.87%；

实验室间相对标准偏差分别为：2.09%、1.45%和 1.60%；

重复性限分别为：0.08%Vol、0.69%Vol 和 1.48%Vol；

再现性限分别为：0.19%Vol、0.84%Vol 和 1.64%Vol。

(3) 方法准确度

6 家验证实验室对湿度为 4.00%Vol、18.00%Vol 和 28.00%Vol 的标准湿气进行测定。

相对误差分别为：-4.95%~5.02%、-0.39%~2.91%和-1.47%~3.23%；

相对误差最终值为：0.34%±8.52%、0.86%±2.72%和 0.66%±3.50%。

(4) 方法各项特性指标达到预期要求。

附件 3

征求意见回复表

单位名称（盖章）				
联系人				
通讯地址				
联系电话				
邮 箱				
序号	标准条款	修改建议	主要理由	备注

（不够请另附页）